

**MONITORIZACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO DE 20 kW**

SANTIAGO CASTRILLÓN LARGO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
PEREIRA
2019**

**MONITORIZACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO DE 20 kW**

SANTIAGO CASTRILLÓN LARGO

**Proyecto de grado
Para optar el título de
Ingeniero en electricidad**

**Director:
Ing. Edgar Salazar Marín
Docente Programa de Tecnología Mecánica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
PEREIRA
2019**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	9
JUSTIFICACIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	11
a. OBJETIVO GENERAL.....	11
b. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
MARCO REFERENCIAL.	12
ANTECEDENTES	12
MARCO CONCEPTUAL.....	12
CAPITULO 1. Caracterización y puesta a punto del sistema fotovoltaico.....	14
1.1 TRANSFERENCIA GENERAL	14
1.2 INVERSOR INFINI SOLAR 10kW.	15
1.3 INVERSOR AURORA ABB	21
CAPITULO 2. Implementación de sistemas de monitoreo remoto.....	25
CAPITULO 3. Manual de funcionamiento de operación de los inversores INFINI SOLAR y AURORA.....	30
CAPITULO 4. Análisis del balance energético en términos de energía generada vs demandada.....	45
4.1 Producción radiación.....	45
4.2 Producción diaria.....	48
4.3 Generación energía eléctrica primer semestre 2019.....	55
CONCLUSIONES	62
ANEXOS	63
BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Totalizador punto de transferencia	14
Figura 2. Tablero de transferencia de energía solar a la red.	14
Figura 3. Conexión sistema fotovoltaico con la red de la universidad.	15
Figura 4. Diagrama inversor híbrido.	16
Figura 5. Inversor infini solar.	16
Figura 6. Banco de baterías.	17
Figura 7. Conexión conectores infini solar.	17
Figura 8. Terminales de entrada de las baterías.	18
Figura 9. Tablero de carga asilada (UPS) inversor infini solar.	18
Figura 10. Tablero protecciones DC banco de baterías.	19
Figura 11. Tablero de protecciones y desconexión DC infini solar.	19
Figura 12. Tablero de corte y entradas MPPT infini solar.	20
Figura 13. Pantalla principal infini solar.	20
Figura 14. Transformadores de aislamiento trifasico 12kVA 440/208 V.	21
Figura 15. Tablero de bornes para conexión AC.	22
Figura 16. Diagrama simplificado inversor aurora.	22
Figura 17. Inversor aurora ABB.	23
Figura 18. Conexión AC Inversor aurora ABB.	23
Figura 19. Protección de conexión a red.	24
Figura 20. Tablero de corte y entradas MPPT aurora ABB.	24
Figura 21. Teamviewer14.	25
Figura 22. Instalador teamviewer14.	26
Figura 23. Menú principal teamviewer14.	26
Figura 24. Opciones principales.	27
Figura 25. Acceso ID asociado.	27
Figura 26. Programar correo electrónico aurora.	28
Figura 27. Enviar correo electrónico infini-solar.	29
Figura 28. Radiación solar (kWh) año 2016.	45
Figura 29. Radiación solar (kWh) año 2017.	46
Figura 30. Radiación solar (kWh) año 2018.	46
Figura 31. Radiación solar (kWh) año 2019.	47
Figura 32. Producción diaria (kWh) año 2016.	48
Figura 33. Producción diaria (kWh) año 2017.	48
Figura 34. Producción diaria (kWh) año 2018.	49
Figura 35. Producción diaria (kWh) año 2019.	49
Figura 36. Diagrama medidor bidireccional	51
Figura 37. Energía generada inversor AURORA ABB.	52
Figura 38. Tensión 1 y 2 inversor AURORA ABB.	52
Figura 39. Energía generada por el inversor INFINI SOLAR.	53
Figura 40. Comparación energía generada entre el año 2018 y 2019.	53

Figura 41. Tensión entrada MPPT2.	54
Figura 42. Potencia entrada MPPT2.	54
Figura 43. Estado de las baterías.	55
Figura 44. Potencia generada primer semestre 2019	56
Figura 45. Curva de potencia radiación solar vs infini solar.	57
Figura 46. Energía vs tiempo	61
Figura 47. Bosquejo arreglo de paneles solares.	63
Figura 48 Diagrama unifilar VIVERO-UTP.	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Radiación solar total anual.	47
Tabla 2. Generación energía total anual.	50
Tabla 3. Potencias del sistema en una hora establecida	50
Tabla 4. Total energía por meses.	55
Tabla 5.Total Energía (kWh)	56
Tabla 6. Radiación solar y eficiencia cada 5 minutos.	58

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por brindarme el conocimiento y sabiduría el cual me permitió culminar esta carrera, un agradecimiento especial al ingeniero Edgar Salazar por darme la oportunidad y ser guía constante a lo largo de este proyecto de grado.

Un agradecimiento fraternal a mi hermano Luis Felipe Castrillón Largo (ingeniero electricista) por brindarme las bases para realizar dicho trabajo.

RESUMEN

Las energías renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitiva. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de producción en cualquier parte del planeta. La transición hacia un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá asimismo efectos económicos muy positivos, es por este motivo que nuestro país está comenzando a implementar este tipo de energías limpias, con mayor énfasis en energía solar, ya que gracias a la localización geográfica en la que se encuentra Colombia hace que el país cuente con buena radiación.

Instalar paneles solares nos presenta resultados adecuados ya que es un recurso ilimitado e innovador del cual podemos aprovechar de su total disponibilidad sin tener de que preocuparnos por los gastos que pueden generar estos ya que son menores a lo que presenta el operador de red local.

En la primera etapa del proyecto se busca conocer el funcionamiento del sistema fotovoltaico de la universidad y así obtener la puesta a punto del sistema de 20kW, adquiriendo requerimientos para obtener datos vía web. En la segunda etapa se desea desarrollar un manual de funcionamiento que integre los inversores híbrido (INFINI SOLAR) y conectado a red (AURORA). En la tercera etapa del proyecto se busca realizar un análisis exhaustivo del balance energético en términos de energía demandada vs energía generada, que permitan estudiar los impactos en términos de rentabilidad, viabilidad e impacto ambiental.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Hoy en día monitorear un sistema fotovoltaico resulta necesario para gestionar datos de una forma segura y eficiente. En primer paso resulta necesario obtener valores de las variables que se desean monitorear, por ejemplo, se puede monitorear la red, la cual es la parte alterna de la instalación o la parte continua la cual vendrían siendo los paneles, en nuestro caso nos enfocaremos a monitorear el balance energético (energía generada vs energía demandada) del sistema fotovoltaico de 20kW que cuenta la Universidad Tecnológica de Pereira, la cual se encuentra instalada en el Vivero.

El motivo de este trabajo es realizar el análisis energético de los inversores INFINI SOLAR y AURORA existentes en el VIVERO-UTP y así demostrar que la energía generada por el sistema solar es más limpia y barata que la que suministra el operador de red de la universidad.

Así mismo se contempla una alternativa para la universidad del aprovechamiento de espacios libres en cada bloque de implementar su propio sistema fotovoltaico. El análisis efectuado se convierte en un proyecto piloto y se podrá extrapolar al análisis de viabilidad de todo tipo de sistema fotovoltaico en el contexto pereirano.

JUSTIFICACIÓN.

Las energías renovables se basan en un sistema de energía limpia, la cual es una energía en pleno desarrollo en vista de nuestra preocupación por la preservación del medio ambiente y por la crisis energética de algunos operadores de red del país. Las energías limpias se obtienen de las siguientes formas: energía eólica, es la que se obtiene por medio del viento; energía solar, se obtiene mediante el sol; energía hidráulica o hidroeléctrica, se obtiene mediante las corrientes de agua.

En nuestro caso nos enfocaremos en la energía solar, la cual son los sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas presentan muchas ventajas en su simplicidad de instalación y que son sistemas adaptables para todo tipo de comunidad.

Nuestro país se distingue por un alto consumo energético y las infraestructuras implementadas son áreas en las cuales se puede brindar la oportunidad de implementar su propio sistema fotovoltaico, para así tener un mejor ahorro de energía eléctrica y menos emisiones contaminantes.

Actualmente la universidad tecnológica de Pereira ha realizado la implementación de otro sistema fotovoltaico con una capacidad de 600,3 kW con un total de 2070 paneles solares; este sistema de generación logra cubrir el 32% de la demanda de energía eléctrica de toda la universidad. Generando así motivación de implementar más sistemas fotovoltaicos en las demás estructuras presentes en el campus y aportarle más al medio ambiente.

OBJETIVOS.

a. OBJETIVO GENERAL.

Establecer el Análisis del balance energético del sistema solar implementado en el vivero-UTP (energía generada vs energía demandada).

b. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar y poner a punto el sistema fotovoltaico actual de 20 kW de Universidad Tecnológica de Pereira.
- Implementar sistemas de monitoreo remoto de las variables del sistema que permitan analizar continuamente los valores de energía generada y demandada.
- Desarrollar un manual de funcionamiento de operación de los inversores INFINI SOLAR y AURORA en una única guía para fácil operación, cuidados y mantenimiento, que permita su aprovechamiento con fines académicos y de investigación.
- Efectuar un análisis del balance energético en términos de energía generada vs demanda para establecer variables como eficiencia real del sistema.

MARCO REFERENCIAL.

ANTECEDENTES

- En [1] es una página web en la que nos habla acerca de las energías renovables.
- En [2] se presenta un artículo del cual se realiza un algoritmo para calcular las variaciones diarias de irradiación del silicio cristalino presente en paneles solares.
- En [3] es un proyecto de grado del cual nos habla acerca de la implementación de un sistema híbrido fotovoltaico.
- En [4] es un proyecto de grado del cual nos habla acerca de un software para modelar un sistema fotovoltaico.

MARCO CONCEPTUAL

Instalación on-grid: Una instalación on-grid o conectada a la red se refiere a toda aquella que se encuentra conectada directamente con la red eléctrica, esto quiere decirnos que durante horas de luz de día el usuario consume la energía solar producida por su propia instalación, mientras que en horas de la noche o cuando se encuentre poca presencia de luz de día el sistema no produce energía, debido a que no se encuentra un componente que almacene toda la energía (baterías)[5].

Instalación off-grid: Una instalación eléctrica off-grid o aislada se refiere a un sistema solar fotovoltaico que no se encuentra conectada a la red eléctrica, esto nos quiere decir que la energía solar es recibida por el panel, se controla y transforma a través de un inversor y luego es almacenada mediante baterías [6].

Sistema híbrido solar: Un sistema fotovoltaico híbrido es una combinación de tecnología de la energía solar y la red eléctrica de forma de poder integrar de la mejor forma ambas fuentes de energía.

Si la energía producida a través de los generadores fotovoltaicos es suficiente para el consumo de hogares, el inversor utilizará la energía fotovoltaica y cargará el excedente de energía a las baterías; igualmente si el consumo es superior que la que se tiene en el sistema fotovoltaico, el inversor tomará la energía que le hace falta de la red pública [7].

Inversor solar: Los inversores solares son equipos encargados de transformar la energía producida en una instalación fotovoltaica la cual transmite de forma de corriente directa, a una corriente alterna para todos los electrodomésticos y otros productos eléctricos que puedan funcionar en sus niveles normales [8].

Paneles fotovoltaicos: un panel fotovoltaico es un panel solar el cual consiste en transformar la energía solar en electricidad.

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. Las células fotovoltaicas que componen un panel fotovoltaico se encuentran encajadas y protegidas. El panel fotovoltaico es el encargado de transformar de una manera directa la radiación solar en electricidad, en forma de corriente continua [9].

Balance energético: Consiste con la conservación de la energía, se trata de que la energía generada sea igual a la consumida, teniendo en cuenta las pérdidas en el sistema.

Monitoreo remoto: Es una solución que permite la supervisión de procesos físicos en tiempo real, gracias a un sistema aplicado independiente de la estructura sin necesidad de cableado y a diferentes distancias [10].

Baterías: Una batería tiene como finalidad acumular energía o electricidad de modo que pueda hacer funcionar el aparato o dispositivo que estén insertados o del que hagan parte de este [11].

CAPITULO 1. Caracterización y puesta a punto del sistema fotovoltaico.

El sistema de 20 kW implementado en el Vivero-UTP cuenta con 104 paneles conectados en 4 arreglos-serie. 2 de 23 paneles para un inversor (Aurora de ABB) y 2 de 27 paneles para un segundo inversor de tipo híbrido (Infini Solar). Un plano de conexiones unifilar es presentado en Anexos.

1.1 TRANSFERENCIA GENERAL



Figura 1. Totalizador punto de transferencia

El sistema fotovoltaico cuenta con un totalizador tripolar con capacidad nominal de 125 A, su función principal es aislar y proteger los dos sistemas de los inversores de manera paralela ante la presencia de algún cortocircuito; se comprobó el buen estado del corte físico de este elemento además de su buena sujeción al tablero de transferencia.



Figura 2. Tablero de transferencia de energía solar a la red.

Por medio de este tablero se realizan las instalaciones de las protecciones individuales de los equipos del sistema fotovoltaico; se verifica la correcta sujeción de los BREAKERS al respectivo barraje además del buen estado de estos elementos.



Figura 3. Conexión sistema fotovoltaico con la red de la universidad.

Se verifica la conexión de los conductores al barraje de alimentación de la red de la universidad, el cual permite realizar la transferencia de energía inyectada al sistema eléctrico mediante el sistema fotovoltaico; comprobando el buen estado de aislamiento y continuidad de estos conductores.

1.2 INVERSOR INFINI SOLAR 10kW.

Este inversor híbrido puede proporcionar energía a las cargas conectadas utilizando los paneles solares, energía de la red o por medio de baterías; todo esto dependiendo del tipo de situación en que se encuentre la energía en ese instante.

El término híbrido hacía referencia a dos fuentes de generación como eólica y solar, pero más recientemente el término “solar híbrido” se refiere a una combinación de energía directa del sol y almacenamiento, que a diferencia de los sistemas completamente aislados, los sistemas híbridos están conectados a la red eléctrica aportando energía a las cargas reguladas (primarias) y no reguladas (secundarias). [14]

Infini solar trabaja con baterías de 48V y se le puede conectar un máximo de 14850W de potencia fotovoltaica.

El Inversor Híbrido Trifásico Infini solar de 10kW es compatible con cualquier generador auxiliar, concentra un cargador de baterías que permite cargarlas a través del generador cuando éstas estén completamente descargadas o realizar la función de un bypass cuando el consumo es alto y no se encuentra suficiente potencia solar.

El esquema general del inversor es de la siguiente manera:

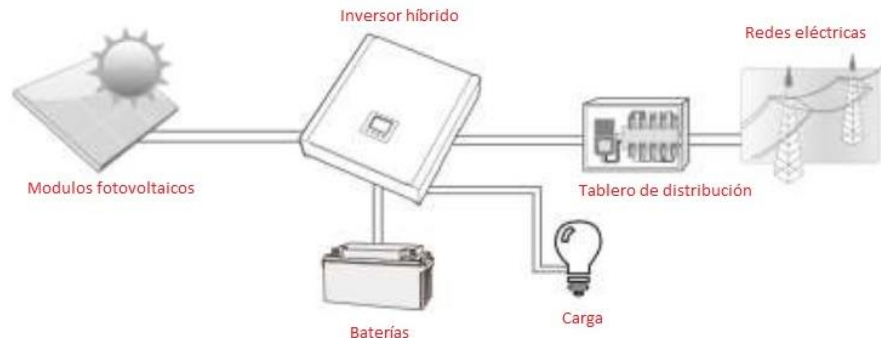


Figura 4. Diagrama inversor híbrido.

El Inversor Híbrido Trifásico de 10kW Infini solar conecta varias series de paneles que trabajan a un voltaje superior. Cuenta con dos MPPT integrados los cuales tienen un rango de trabajo de entre 400 y 800V mientras que su intensidad máxima es de 18,6A. La electricidad que suministra la salida del inversor se convierte en tiempo real desde el campo fotovoltaico. En caso de que haya excedente de energía, ésta se almacena en las baterías. [12]



Figura 5. Inversor infin solar.

Para poner a punto el sistema fotovoltaico de 20kW a continuación se verifica el correcto funcionamiento de las etapas de potencia del inversor.



Figura 6. Banco de baterías.

El sistema fotovoltaico cuenta con 4 baterías de 12 voltios- 260 Ah cada una, conectadas en serie para un total de 48 voltios (12480 Wh). Se le verifican los respectivos niveles de tensión para comprobar su correcto funcionamiento. Ser baterías selladas representa una ventaja al no depender de alimentación periódica de fluido.

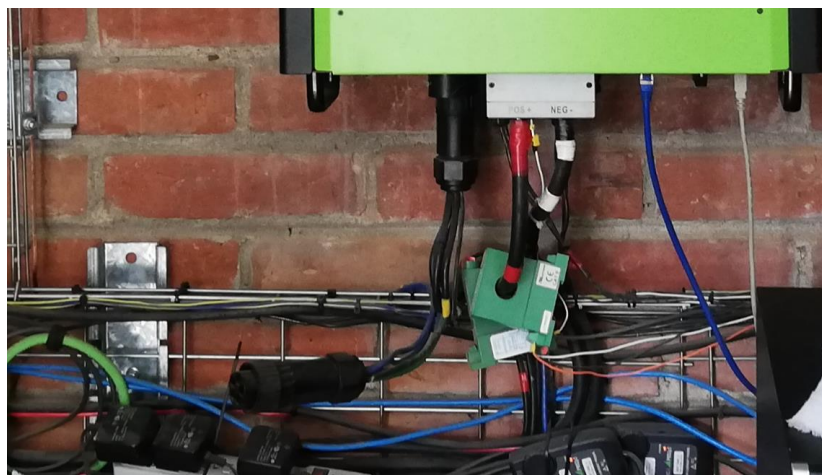


Figura 7. Conexión conectores infini solar.

Se verificó la correcta conexión y aislamiento de los conectores AC y red del equipo con su respectiva bandeja porta cables.



Figura 8. Terminales de entrada de las baterías.



Figura 9. Tablero de carga asilada (UPS) inversor infini solar.

Se verificó la correcta sujeción de los BREAKERS de los equipos del cuarto y tablero al barraje, observando que los conductores tienen continuidad.



Figura 10. Tablero protecciones DC banco de baterías.

Se revisó la conexión de las baterías por medio de su protección respectiva, cada par de bancos se encuentra protegido con BREAKERS magnético DC de respuesta lenta con capacidad nominal de 80A, igualmente tienen dos totalizadores magnéticos DC de 250 A; se comprueba su correcta sujeción de los terminales en el barraje.



Figura 11. Tablero de protecciones y desconexión DC infini solar.

Se comprende una carga trifásica, la cual cada una de las cargas es monofásica independiente con una conexión interna en delta, protegida cada una con un BREAKER de 60 A, garantizando la respectiva salida de los dos módulos MPPT del inversor.



Figura 12. Tablero de corte y entradas MPPT infini solar.

Se realizó el respectivo cambio a la porta fusible del primer MPPT para verificar el correcto seccionamiento del sistema de entrada, además se verifica que la protección contra sobretensiones y corto circuitos se encuentren en buen estado.



Figura 13. Pantalla principal infini solar.



Figura 14. Transformadores de aislamiento trifasico 12kVA 440/208 V.

1.3 INVERSOR AURORA ABB

AURORA es un inversor capaz de alimentar la red de distribución eléctrica con la energía obtenida de los paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos transforman la energía irradiada por el sol en energía eléctrica de tipo continua “DC” (a través de un campo fotovoltaico, llamado también generador PV); pero para alimentar la red de distribución y para que pueda utilizarse hay que transformarla en corriente de tipo alterna “AC”. Esta conversión, conocida como inversión de DC a AC, es realizado en modo eficiente por AURORA, sin el uso de elementos giratorios, sólo a través de dispositivos electrónicos estáticos [13].

Se debe tener en cuenta en sistemas trifásicos la secuencia de operación del inversor AURORA el cual debe conectarse al dispositivo de seccionamiento red Ac mediante un cable de tres conductores para las fases, un conductor para el neutro y uno amarillo o verde para la conexión a tierra.(R,S,T) y los cuales deben coincidir con la secuencia del equipo para garantizar que el equipo se pueda sincronizar de forma correcta con la red.



Figura 15. Tablero de bornes para conexión AC.

Un panel fotovoltaico está constituido por muchas celdas fotovoltaicas instaladas en un mismo soporte. Una CADENA está constituida por un cierto número de paneles conectados en serie. Un conjunto voltaico o ARRAY (arreglo) está constituido por una o varias cadenas conectadas en paralelo.

En la conexión del sistema fotovoltaico se tiene en cuenta que el inversor tiene dos entradas de regulación MPPT, las cuales permiten que hallan dos topologías en arreglo de módulos independientes, la corriente de cada arreglo debe estar comprendida en los límites del inversor; para el inversor AURORA la corriente máxima de entrada puede ser de 19 Adc; la tensión continua que entra en el inversor no debe superar los 850Vdc para evitar que se presenten daños en el equipo, al superar este valor de tensión provoca que el inversor AURORA genere una alarma cada vez que supere este umbral. El inversor está conectado con 2 arreglos serie de 23 paneles por cada entrada MPPT para un total de 26 módulos.

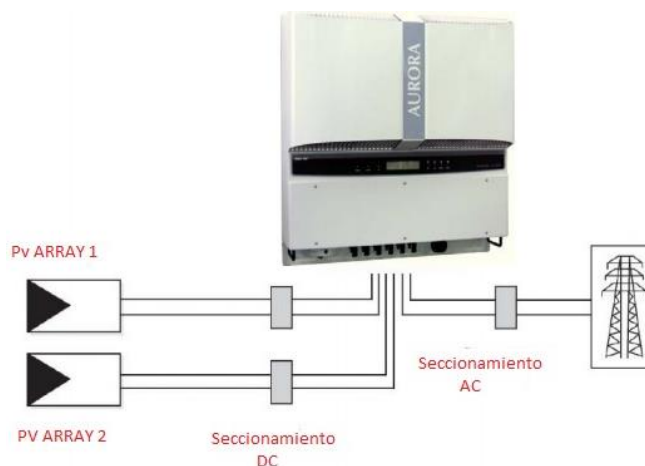


Figura 16. Diagrama simplificado inversor aurora.

A continuación se verifica el correcto funcionamiento de las etapas de potencia del inversor:



Figura 17. Inversor aurora ABB.

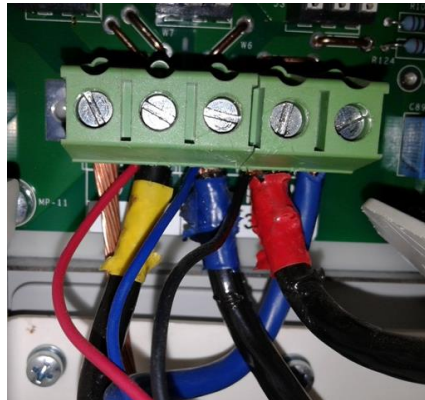


Figura 18. Conexión AC Inversor aurora ABB.

Se verificó la continuidad de los conductores que llegan al inversor además de su buen nivel de aislamiento, lo cual se comprobó su correcta sujeción al respectivo terminal.



Figura 19. Protección de conexión a red.

La protección a red del equipo aurora ABB es una protección termo-magnética AC tripolar con capacidad de 60 A, se comprueba su nivel de aislamiento y buena sujeción del BREAKER a su respectivo barraje.



Figura 20. Tablero de corte y entradas MPPT aurora ABB.

Se comprueba que las protecciones contra cortocircuito y sobretensiones se encuentren en buen estado, además del buen estado de los barrajes y porta fusibles, verificando el correcto funcionamiento de cada una de las entradas MPPT para así asegurar el correcto seccionamiento del sistema solar al inversor.

CAPITULO 2. Implementación de sistemas de monitoreo remoto.

Hoy en día existen en el mercado varias aplicaciones de monitoreo remoto en tiempo real, lo cual facilita el trabajo de las personas que requieran información de otras computadoras a través de la web. En nuestro caso se opta por implementar la aplicación teamviewer14, la cual es una aplicación de monitoreo remoto la cual permite controlar el computador del sistema fotovoltaico a través de un computador personal a larga distancia todo por vía wifi.

Se descarga la aplicación en ambos computadores a través de la página principal del programa www.teamviewer.com/es-mx/ y Se siguen los siguientes pasos:

1. Continuamos dándole click en descargar



Figura 21. Teamviewer14.

2. Una vez descargado el programa le damos ejecutar.
3. Al ejecutar el programa nos saldrá la siguiente ventana, señalamos en iniciar y privadamente, damos aceptar y esperamos que se complete la descarga.

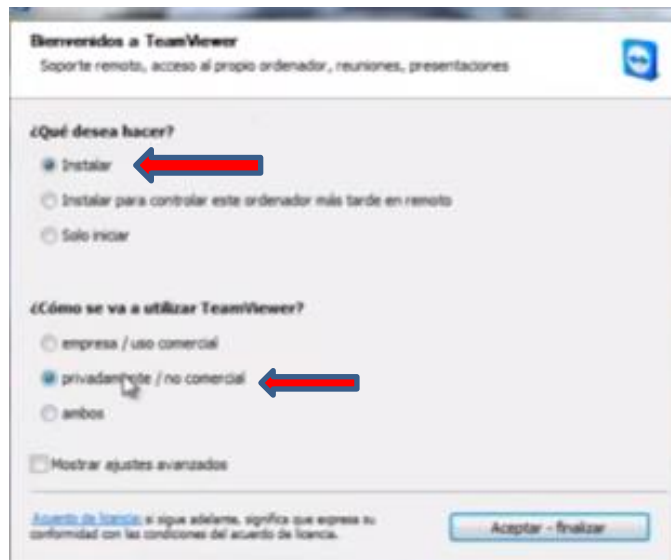


Figura 22. Instalador teamviewer14.

4. Una vez finalizada la descarga abrimos el programa, el cual nos proporcionara un código ID y contraseña.

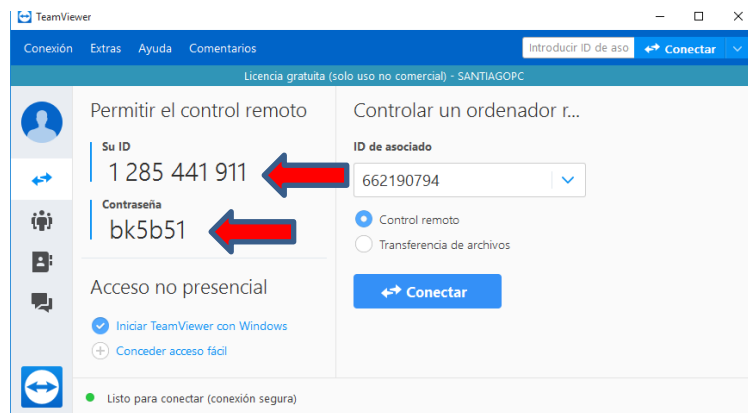


Figura 23. Menú principal teamviewer14.

5. Teniendo el programa abierto procedemos a entrar en extras y después opciones, nos saldrá la siguiente ventana

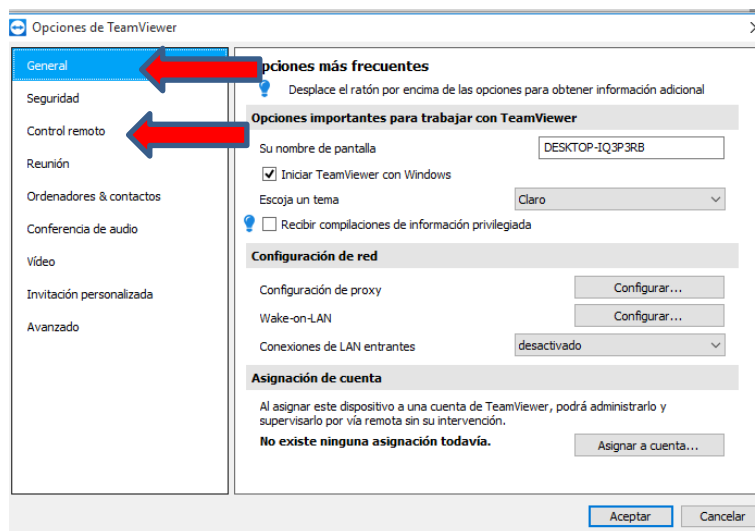


Figura 24. Opciones principales.

Con esta ventana podemos configurar varias opciones como la de iniciar teamviewer automáticamente con el Windows y también conservar el mismo fondo de pantalla del computador que vamos a monitorear.

6. Para monitorear de manera remota cualquier computador ingresamos en el apartado que dice ID asociado.

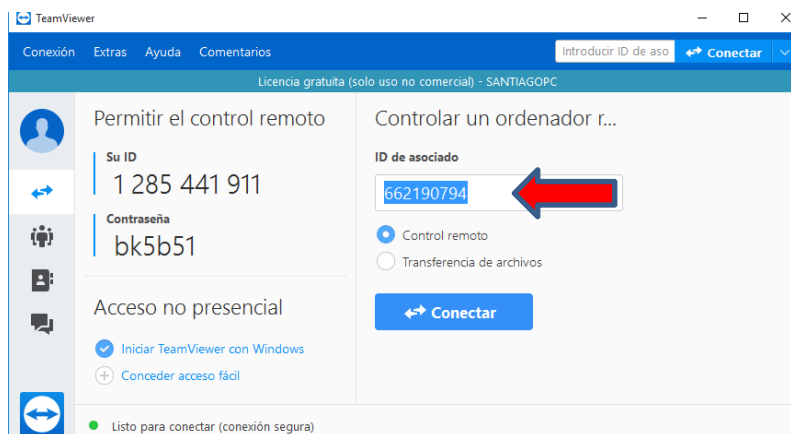


Figura 25. Acceso ID asociado.

Al ingresar el ID del computador que vamos a monitorear, señalamos la parte que dice control remoto, este automáticamente nos va pedir la contraseña del teamviewer del computador que vamos a controlar.

Una vez ingresada la contraseña obtenemos el control total del computador.

NOTA: Cabe resaltar que al momento de ingresar el ID del computador que vamos a monitorear, el computador que va ser monitoreado debe tener la aplicación abierta y con conexión a internet.

Una vez que se obtenga control total de la monitorización remota se puede acceder a los programas de interés, los cuales son: SOLARPOWER (inversor infini-solar) y POWER-ON (inversor aurora).

Podemos tener control total de las variables del sistema fotovoltaico en tiempo real como potencia de entrada, potencia de salida, generación de energía diaria, mensual o anual, etc.

Independiente de monitorear el computador del sistema solar el inversor AURORA se puede programar para que en cada intervalo de tiempo automáticamente me llegue un correo electrónico con los resultados de las variables de interés y alertas que se presenten en el sistema.

The screenshot shows the 'Relaciones de alarma' (Alarm Relations) configuration window. It is divided into three main sections: SMTP settings, daily relations, and alarm relations.

- Server SMTP:** Includes fields for 'Server SMTP' (127.0.0.1), 'Puerto' (25), 'Defecto' (checked), 'User STARTTLS/SSL' (unchecked), 'Autenticación' (unchecked), 'Username', 'Password', 'Remiteinte' (Aurora Communicator), and 'Dirección del Remiteinte' (aurora.communicator@power-one.co).
- Relaciones diarias (Daily Relations):** Includes radio buttons for 'Envía las relaciones cuando el sistema se apaga' and 'Envía las relaciones en horario específico' (selected). It has a 'Horario de envío de la relación' field set to '03:00 p.m.' and an 'E-mail dirección' field set to 'santi.castrillon7@gmail.com' with a link to 'Añade e-mail'.
- Relaciones de alarma (Alarm Relations):** Includes a checked 'Ignorar Advertencias' checkbox, an 'Error de Comunicación (Central)' checkbox with a '15 Minutos' timer, and an 'E-mail dirección' field set to 'santi.castrillon7@gmail.com' with a link to 'Añade e-mail'.
- Contador de alarmas (Alarm Counter):** Includes a checkbox 'Enviar un correo electrónico después de que el estado del inversor es estable para este' and a '20 muestras' (samples) field.

At the bottom right, there are 'Ok' and 'Anular' buttons.

Figura 26. Programar correo electrónico aurora.

El inversor infini-solar también tiene la función de enviar datos y alertas al correo electrónico, solo que toca hacerlo de forma manual.

Figura 27. Enviar correo electrónico infini-solar.

En el capítulo siguiente se dará una mejor explicación de estos procedimientos implementando un manual de estos inversores.

CAPITULO 3. Manual de funcionamiento de operación de los inversores INFINI SOLAR y AURORA.



INVERSOR ON-GRID AURORA ABB

AURORA es un inversor capaz de alimentar la red de distribución eléctrica con la energía obtenida de los paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos transforman la energía irradiada por el sol en energía eléctrica de tipo continua "DC" (a través de un campo fotovoltaico, llamado también generador PV); pero para alimentar la red de distribución y para que pueda utilizarse hay que transformarla en corriente de tipo alterna "AC". Esta conversión, conocida como inversión de DC a AC.

En la instalación se debe tener en cuenta que las fases R, S y T se deben caracterizar en la red y hacerlas coincidir con los puntos de conexión por fase R, S y T del equipo, para garantizar que el equipo se pueda sincronizar de forma correcta con la red.

En la conexión del sistema fotovoltaico se tiene en cuenta que el inversor tiene dos entradas de regulación MPPT, las cuales permiten que hallan dos topologías en arreglo de módulos independientes, la corriente de cada arreglo debe estar comprendida en los límites del inversor; para el inversor AURORA la corriente máxima de entrada puede ser de 19 Adc; la tensión continua que entra en el inversor no debe superar los 850Vdc.

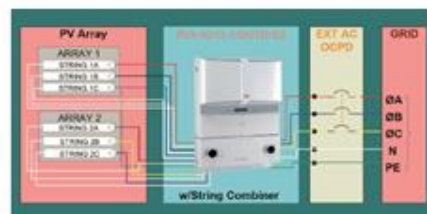
El sistema consiste:

1. **Módulo Fotovoltaico o Paneles Solares:** Este capta y transforma la radiación solar en energía eléctrica.
2. **Inversor de Corriente:** El dispositivo convierte el voltaje de corriente directa generada por los módulos fotovoltaicos en voltaje de corriente alterna, la utilizada para el funcionamiento de cualquier dispositivo electrónico.
3. **Medidor Bidireccional:** Permite contabilizar el total de energía que se ha generado por medio de los módulos fotovoltaicos.
4. **Consumo Eléctrico:** Cualquier dispositivo ya puede ser utilizado gracias al alimento brindado por la energía solar.
5. **Conexión a Red Eléctrica:** Es la conexión que permite la utilización tanto de los módulos fotovoltaicos como la suministrada por la red pública de la localidad en la que se habita.

PROTOCOLOS A TENER EN CUENTA:

1. El equipo debe ser habilitado en primera instancia por una fuente estable (RED).
2. Después de iniciar el equipo, se podrán conectar los arreglos fotovoltaicos, (inicia los MPPT sin inconvenientes).
3. en caso de ausencia de red eléctrica el inversor tendrá una desconexión parcial.

La conexión típica del sistema para este inversor se muestra a continuación.



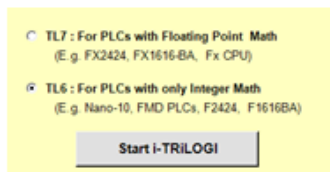
Protocolos para iniciar el inversor



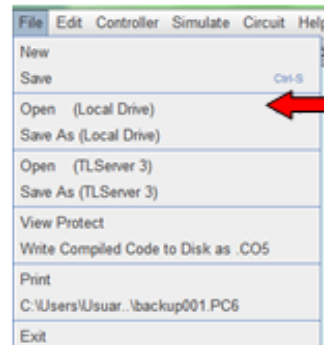
Ingresar al programa TRILOGI

- **RTU-SA: Aurora**
- **IP: 10.255.253.3**
- **Puerto: 9080**
- **Gateway: 10.255.253.1**
- **Mascara de subred: 255.255.255.224**

Tener presente la IP del inversor

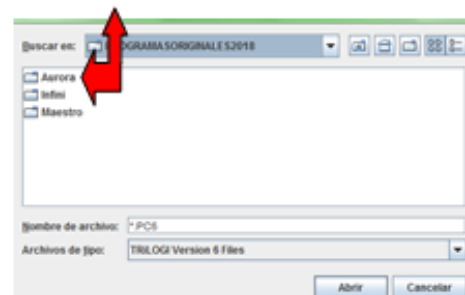


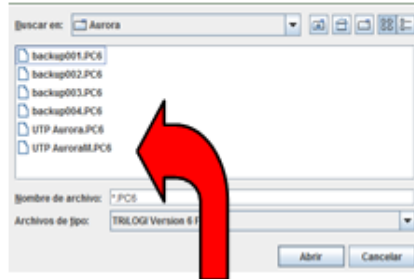
Después escogemos la opción TL6 y damos clic en Start i-TRIlogi



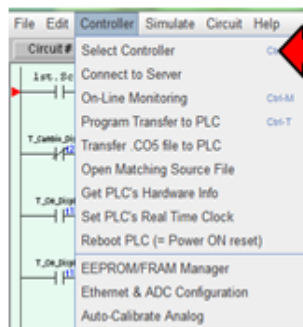
Ingresamos a **FILE** y después damos clic en **open (local drive)**

Luego nos aparecerá la siguiente ventana, señalamos **AURORA** y le damos abrir.



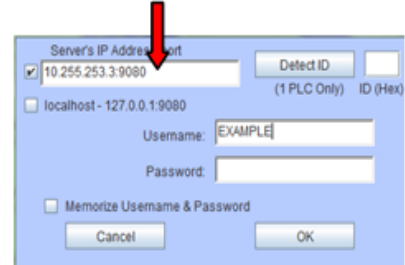


Después de abrir el programa **Aurora**, seleccionamos **UTP AuroraM.PC6** damos clic en **Abrir**.

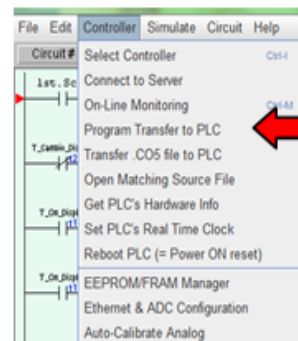


Damos clic en **Controller** y después ingresamos a **Select controller**

Verificamos que el código IP corresponda al del inversor ABB y lo chuleamos.



Escribimos la palabra **EXAMPLE** y damos clic en **DETECT ID** y luego damos click en **OK**.



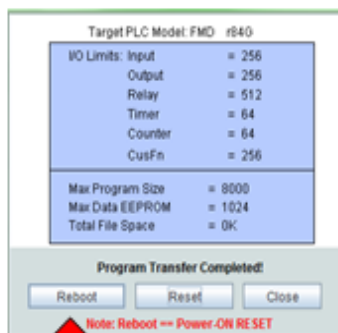
Nuevamente ingresamos a **Controller** e ingresamos a **Program transfer to plc**



Luego nos saldrá un cuadro para confirmar la transferencia, le damos click en yes.

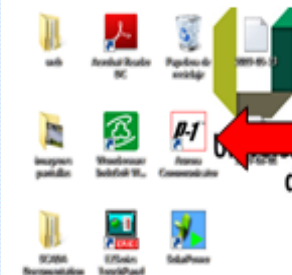


Nos saldrá una ventana de la compilación, damos click en start-transfer.



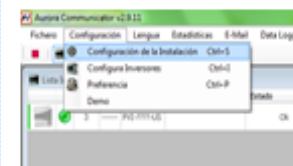
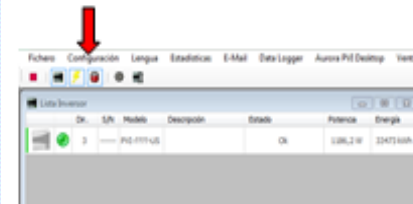
Finalmente damos click en Reboot para completar la transferencia y poder entrar en funcionamiento el inversor.

TOMA DE DATOS Y MANEJO DE AURORA ABB POWER ON



Abrimos el programa POWER ON que se encuentra en el escritorio.

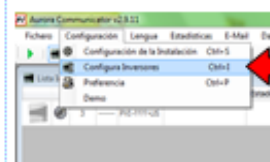
Damos click en configuración para seleccionar el puerto en el que tenemos conectado el inversor y para observar cuantos inversores tenemos conectados.



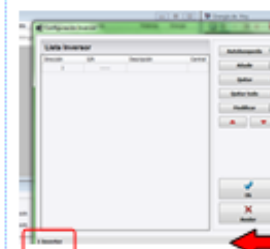
Seleccionamos configuración de la instalación para determinar el puerto del inversor.



↑
Inmediatamente nos saldrá el siguiente cuadro, configuramos el puerto y damos click en OK; Dejamos la dirección IP y damos click en OK.



Después de configurar el puerto configuramos el inversor.



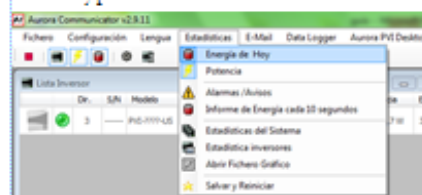
Le damos click en auto búsqueda para mirar cuantos inversores tengo conectados

Una vez detectado el inversor damos click en OK

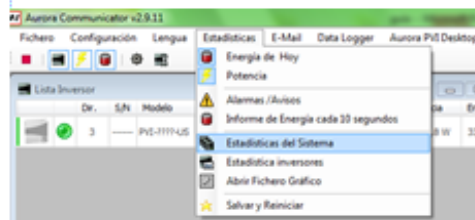
Una vez realizado estos pasos ya podemos visualizar datos en tiempo real que me esta generando este inversor.



Podemos observar valores como: energía diaria, total; potencia de entrada y potencia de salida.



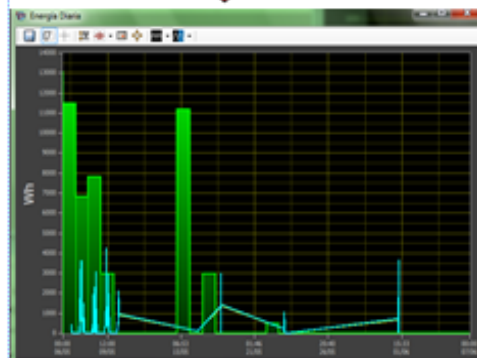
Si damos click en estadísticas, podemos obtener datos y graficas de periodos donde queremos conocer lo que se esta generando en el sistema.



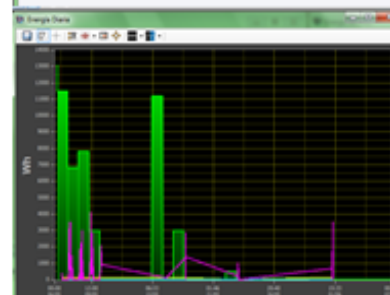


Al darle click en estadísticas del sistema podemos obtener periodos de información en la fecha que queramos y tipos de gráficos en dispersión o histograma.

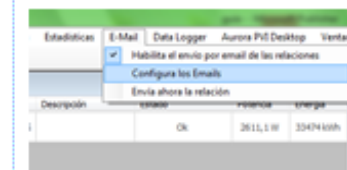
Por ejemplo: obtengo el siguiente histograma de las medidas potencia de entrada, potencia de salida y energía diaria del periodo del 6 de mayo hasta el 6 de junio.



De igual manera al darle click en estadísticas del inversor, obtenemos graficas de las variables que deseemos conocer, definiendo un periodo.



En la configuración emails, podemos programar para que en ciertas horas del día nos llegue al correo información de los que se está generando y también alertas.



Nota: Tenemos que tener en cuenta que si queremos programar el inversor para que nos envíe correos, este inversor debe tener instalada una tarjeta wifi.

En la opción Data logger podemos programar al inversor para que en cierto rango de tiempo, este genere datos de lo que esta generando el sistema y me los genere en un archivo ELOCK DE NOTAS y me los guarde en la carpeta que yo le asigne .



Se señalan las variables que quiere obtener resultados.

INVERSOR OFF-GRID INFINI SOLAR

El Inversor Híbrido Trifásico Infini-solar de 10kW es compatible con cualquier generador auxiliar, concentra un cargador de baterías que permite cargarlas a través del generador cuando éstas estén completamente descargadas o realizar la función de un bypass cuando el consumo es alto y no se encuentra suficiente potencia solar.

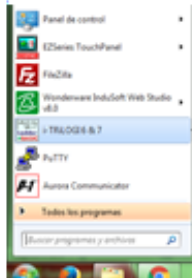
El sistema solar híbrido presenta dos salidas AC, lo que obliga que ambas salidas deben ser acopladas. Se debe tener en cuenta que los transformadores deben garantizar como mínimo la potencia máxima del equipo, pero no se puede superar el 20% de seguridad, ya que las pérdidas por magnetización, son demasiado altas.

Se debe tener en cuenta el siguiente protocolo de inicialización basado en la estabilidad de inicio de los protocolos de control y de transferencia de potencia:

1. El equipo debe ser habilitado en primera instancia por una fuente estable, en este caso de los sistemas híbridos se refiere a las baterías lo cual permite que el sistema habilite todas sus acciones de control y operación.
2. Después de iniciar el equipo y de verificar que no existe ningún problema de conexión se procede a realizar la conexión del sistema solar, en donde se verifica si el sistema presenta algún error y además la correcta identificación de los mismo en el módulo de control.
3. Se procede a realizar la conexión de la red eléctrica, lo que habilita la transferencia de energía a la misma y en caso tal de necesitado el sistema toma energía.



Protocolos para iniciar el inversor



Ingresar al programa
TRILOGI

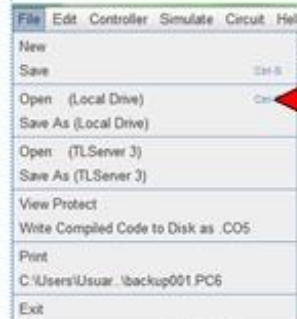
- RTU-SB: Infini
- IP: 10.255.253.4
- Puerto: 9080
- Gateway: 10.255.253.1
- Mascara de subred: 255.255.255.224

Tener presente la
IP del inversor

- ☐ TL7 : For PLCs with Floating Point Math
 (E.g. FX2424, FX1616-BA, Fx CPU)
- ☒ TL6 : For PLCs with only Integer Math
 (E.g. Nano-10, FMD PLCs, F2424, F1616BA)

Start i-TRILOGI

Después elegimos la opción TL6
y damos clic en Start i-TRILOGI

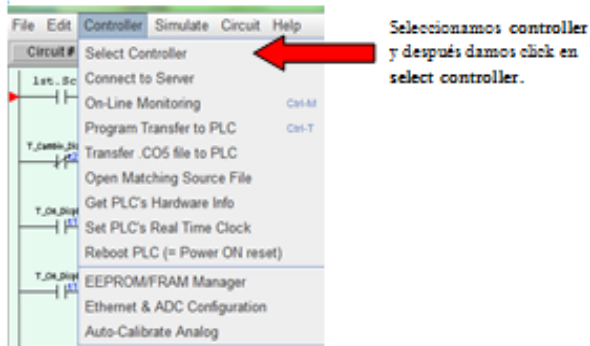


Ingresamos a FILE y
después damos clic en
open (local drive)

Luego nos aparecerá la siguiente ventana, señalamos INFINI
y le damos abrir.



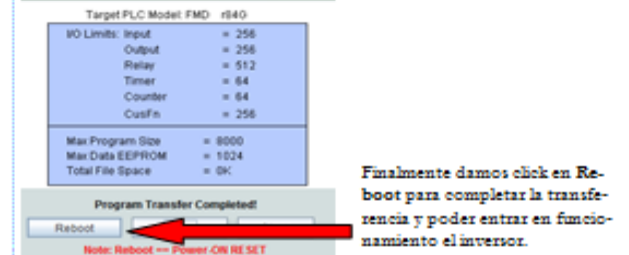
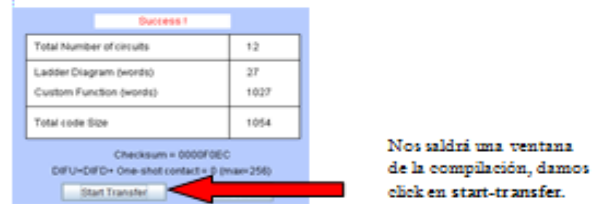
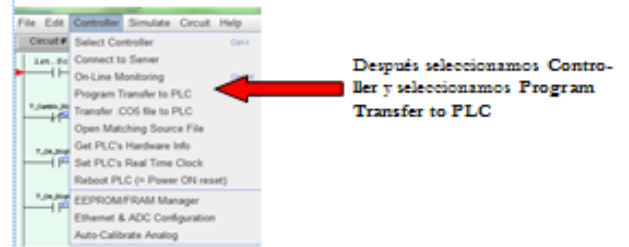
seleccionamos
UTP InfiniMtime.PC6
damos clic en
Abrir.

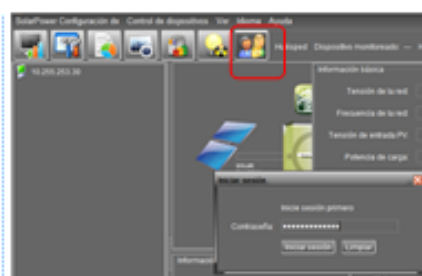


Verificamos que el código IP corresponda al del inversor infini y lo chequeamos.



Escribimos la palabra **EXAMPLE** y damos click en **DETECT ID** y luego damos click en **OK**.



TOMA DE DATOS Y MANEJO DE INFINI SOLAR
SOLARPOWER

Ingresamos en el icono que está subrayado en rojo e ingresamos la contraseña ADMINISTRATOR.

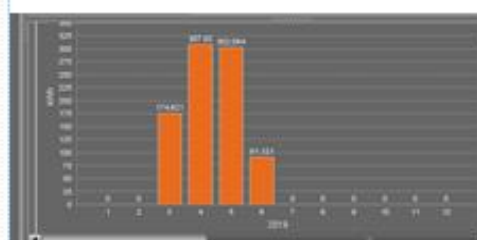
Una vez ingresada la contraseña podemos ver a un costado del programa información básica como tensión en la red, frecuencia, etc...



Factor de potencia de entrada PV1	0 W
Factor de potencia de entrada PV2	1945 W
Ho	3.422 kWh
Este mes:	91.511 kWh
Este año:	875.756 kWh

El programa automáticamente nos genera un histórico de la potencia en mes, año, lo que está generando el presente día.

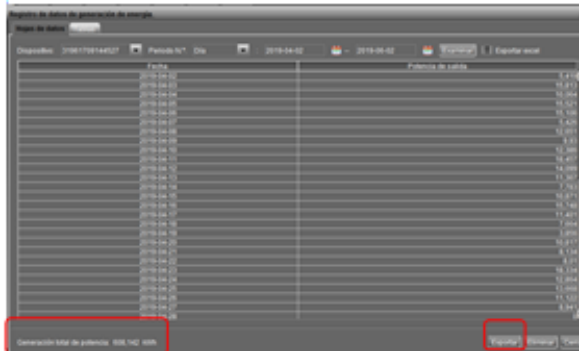
A continuación se muestra una grafica de la potencia generada de los meses marzo, abril, mayo y junio de 2019.



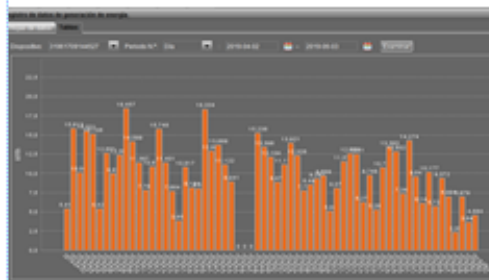
Al darle click en ver, podemos observar registro de eventos ya sea en forma grafica o de texto.



EJEMPLO: Al ingresar en ver, datos. Podemos ingresar un periodo de tiempo para averiguar cuanto energía a generado el inversor, al igual de una energía total del sistema; para este ejemplo agregue un periodo desde el 2 de abril hasta el 3 de junio de 2019; el sistema me genera información de la energía que genero cada día en ese rango de periodo.



De igual forma también puedo obtener información de cada una de esa energía en forma grafica.

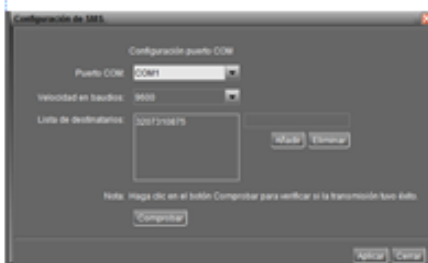
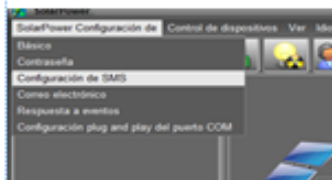


NOTA: Todos esos valores se pueden EXTRAER en un archivo de Excel.

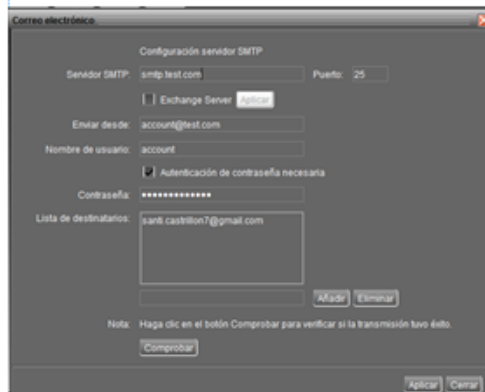
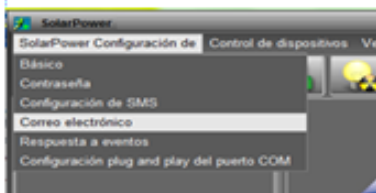
En control de dispositivos, dándole click en configuración de parámetros podemos organizar datos del equipo como por ejemplo tensión máxima de red, corriente de carga máxima, silenciar alarma de fallas.



En la opción SolarPower configuración, dándole click en configuración SMS, configurando en el po el puerto al cual esta conectado el inversor, ingresamos el numero de celular para que nos llegue un mensaje de texto cuando se presente alguna falla.



En la opción correo electrónico, igualmente configurando el puerto donde esta conectado el inversor y añadiendo un correo electrónico, el sistema nos puede enviar información de eventos.



NOTA: Para obtener esta información de monitorización mediante correo electrónico y mensaje de texto es necesario que el sistema cuente con un modem GSM.



**Cualquier duda
comunicarse con:**

Santiago Castrillón Largo
Tiago9411@utp.edu.co

CAPITULO 4. Análisis del balance energético en términos de energía generada vs demandada

La empresa de Energía de Pereira EEP ha realizado el montaje de un medidor bidireccional en el tablero principal de cargas el cual me muestra en un rango de tiempo cuanta potencia está consumiendo el sistema además de información para establecer potencia en producción diaria y producción de radiación.

A continuación se muestra la potencia (activa) en producción diaria y radiación solar desde el año 2016 hasta la presente fecha:

4.1 Producción radiación.

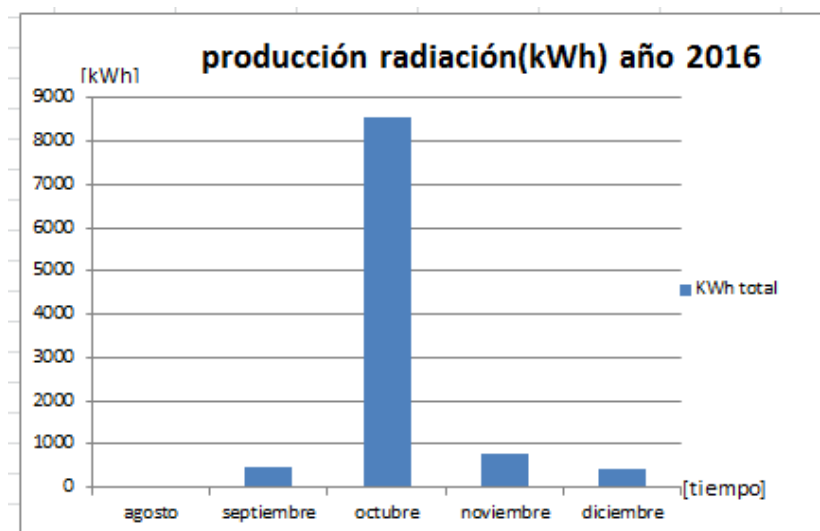


Figura 28. Radiación solar (kWh) año 2016.

El medidor bidireccional fue instalado a mediados del mes de agosto del año 2016; por tal motivo el análisis de potencia comienza desde tal mes, se puede observar que en la anterior figura 28 el mes de octubre fue donde se obtuvo una mayor radiación solar (8,5kW) ya que aquel mes se presentó demasiado verano.

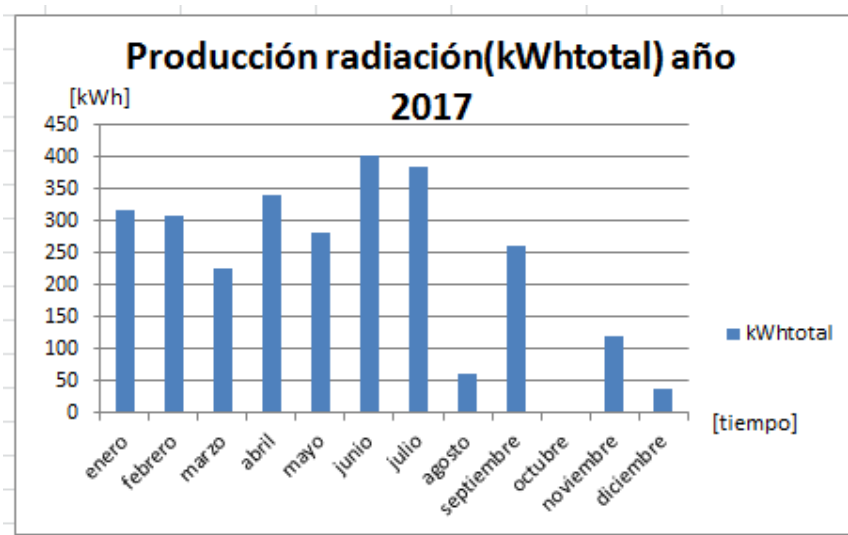


Figura 29. Radiación solar (kWh) año 2017.

De la figura 29 observamos que la radiación solar fue muy variante en cada mes, ya que a lo largo del año se presentan fenómenos naturales (fenómeno del niño y de la niña) ocasionando que se presenten meses con buena radiación solar cuando el fenómeno del niño estuvo presente, y meses con poca radiación solar como agosto, octubre y diciembre por la cantidad de días lluviosos que se registraron.

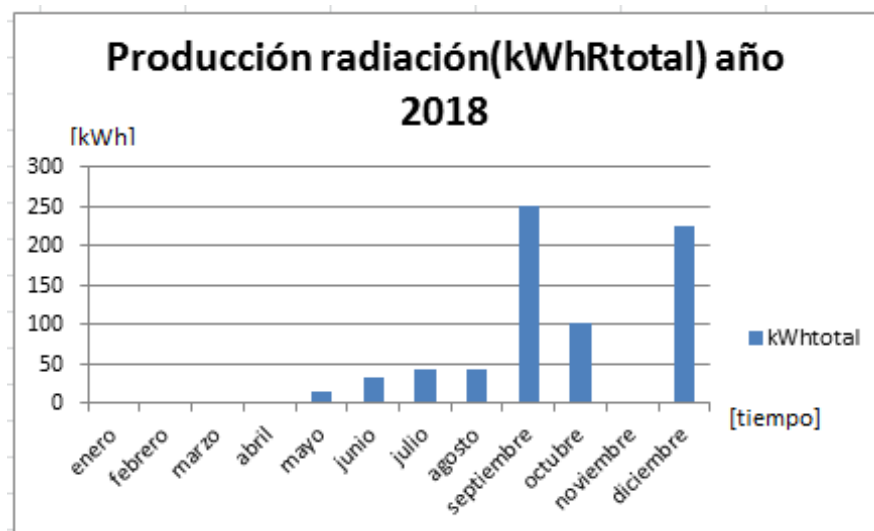


Figura 30. Radiación solar (kWh) año 2018.

En el año 2018 se presentaron mantenimientos en algunos elementos del sistema solar afectando que el medidor bidireccional no haya alcanzado a tener mediciones en algunos meses del año; sin embargo el mes con más radiación solar fue septiembre con una potencia de 250 W. Se puede observar en la anterior figura 30.

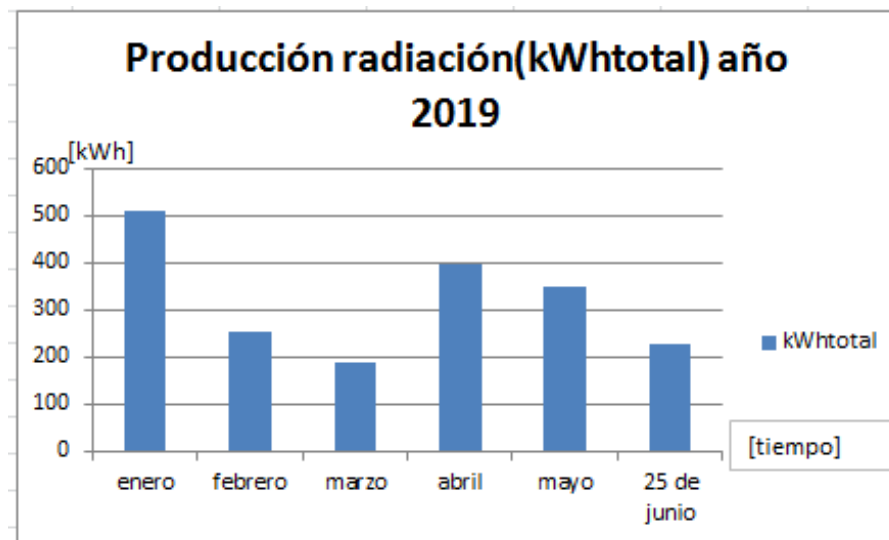


Figura 31. Radiación solar (kWh) año 2019.

En la figura 31 se logra apreciar que la radiación solar a estado de forma decreciente ya que se han presentado demasiadas lluvias a lo largo de los seis meses; el mes de enero ha sido el único mes en el que se presentó verano obteniendo una mayor radiación solar con respecto a los últimos dos años de un valor de 520 W.

En términos anuales se obtuvo el total de la radiación solar; la cual se puede apreciar en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Radiación solar total anual.

AÑO	RADIACIÓN TOTAL (Wh)
2016	10225,643
2017	2748,301
2018	715,913
2019	1049,381

4.2 Producción diaria

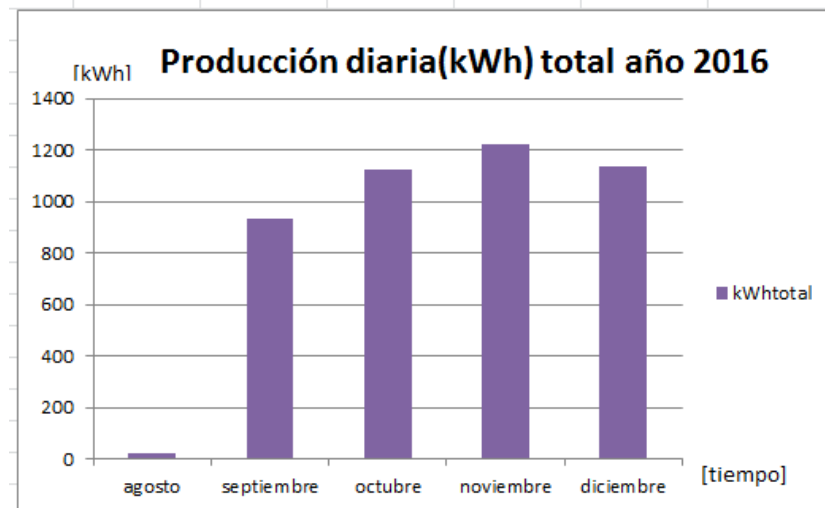


Figura 32. Producción diaria (kWh) año 2016.

De la figura 32 se puede observar que el mes de noviembre se generó la mayor energía en el sistema con un valor de 1200 kWh.

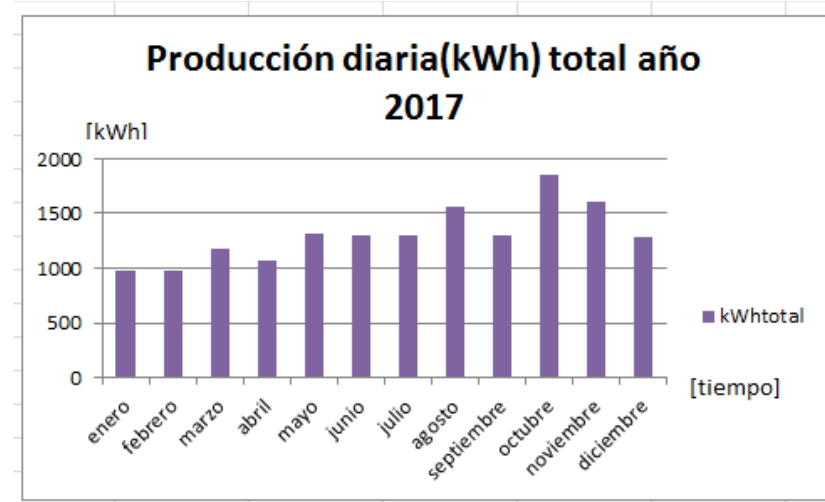


Figura 33. Producción diaria (kWh) año 2017.

En este año se observa una leve variación de generación de energía en cada mes, todo esto dependiendo del estado en que se haya encontrado cada elemento del sistema solar además de la radiación que se obtuvo en cada mes. Se puede apreciar en la anterior figura 33.

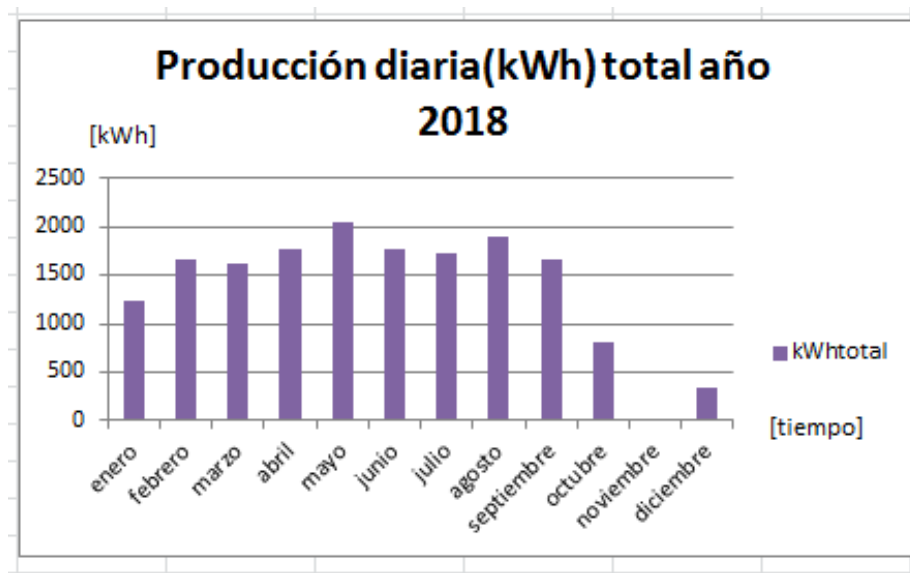


Figura 34. Producción diaria (kWh) año 2018.

En la figura 34 se presentan algunas variaciones de generación de energía ya que en algunos meses se presentaron mantenimientos en el sistema fotovoltaico y la radiación solar fue muy variante.

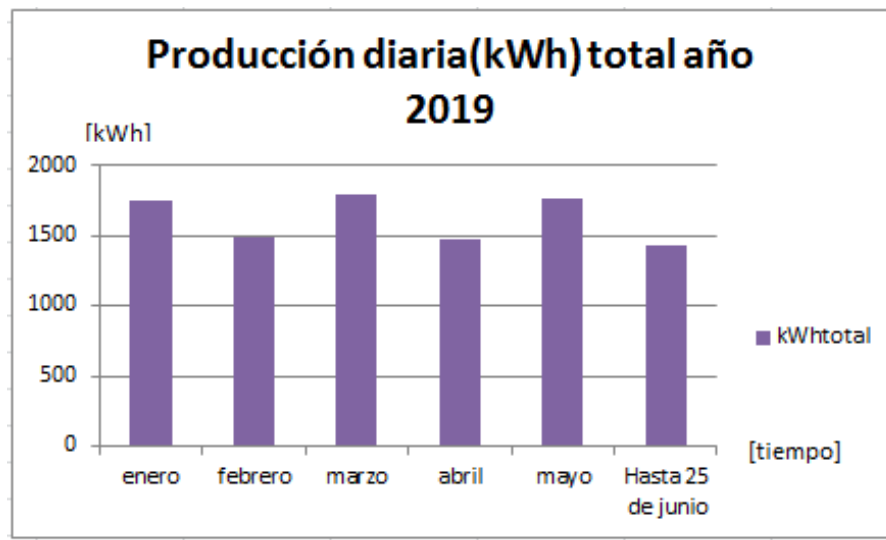


Figura 35. Producción diaria (kWh) año 2019.

En la figura 35 se observan leves variaciones de generación de energía en los seis meses, todo esto dependiendo de la radiación solar que se presentó en cada mes y del estado que se hayan encontrado cada elemento del sistema fotovoltaico; se obtuvo una mayor generación de energía en el mes de enero con un valor de 1,8 kWh.

En términos anuales se obtuvo el total de la generación de energía; la cual se puede apreciar en la siguiente tabla 2:

Tabla 2. Generación energía total anual.

AÑO	GENERACIÓN ENERGÍA TOTAL (Wh)
2016	4439,81
2017	15744,753
2018	16571,167
2019	9681,138

Con la información obtenida del medidor bidireccional podemos calcular la eficiencia que está obteniendo el sistema en un día cualquiera con la siguiente ecuación:

$$eficiencia\ eléctrica = \frac{potencia\ útil}{potencia\ consumida} * 100\% \quad (1)$$

Donde potencia útil es la potencia que generó el sistema durante el periodo que se realizó el análisis.

Ejemplo: analizaremos la eficiencia eléctrica que tuvo el sistema fotovoltaico el **día 3 de julio de 2019 a las 9 y media de la mañana**; con el medidor bidireccional obtenemos la potencia consumida del sistema, el valor de la potencia útil la obtenemos de la potencia generada de los dos inversores presentes en el sistema.

Tabla 3. Potencias del sistema en una hora establecida

Potencia generada AURORA ABB (W)	Potencia generada INFINI SOLAR (W)	Potencia consumida EEP (W)	Potencia consumida de carga (W)
508,2	131,8	422	373

Con la ecuación (1) obtenemos la eficiencia eléctrica a esa hora del día:

$$eficiencia\ eléctrica = \frac{508,2 + 131,8}{422 + 373} * 100\%$$

$$eficiencia\ eléctrica = 80,503\%$$

En ese periodo establecido se obtiene una eficiencia eléctrica del 80,503% lo cual es bueno teniendo en cuenta que en el sistema se presentan caídas de tensión.

En la figura 36 se observa el diagrama del medidor bidireccional con el que cuenta el sistema fotovoltaico; donde adquirimos las entradas señalizadas en color verde y las salidas del sistema señalizadas en color rojo, podemos observar la energía entregada a la red eléctrica también la energía consumida por cada una de las cargas presentes. Actualmente la salida LOAD VIVERO se encuentra desconectada en el sistema por cuestiones técnicas.

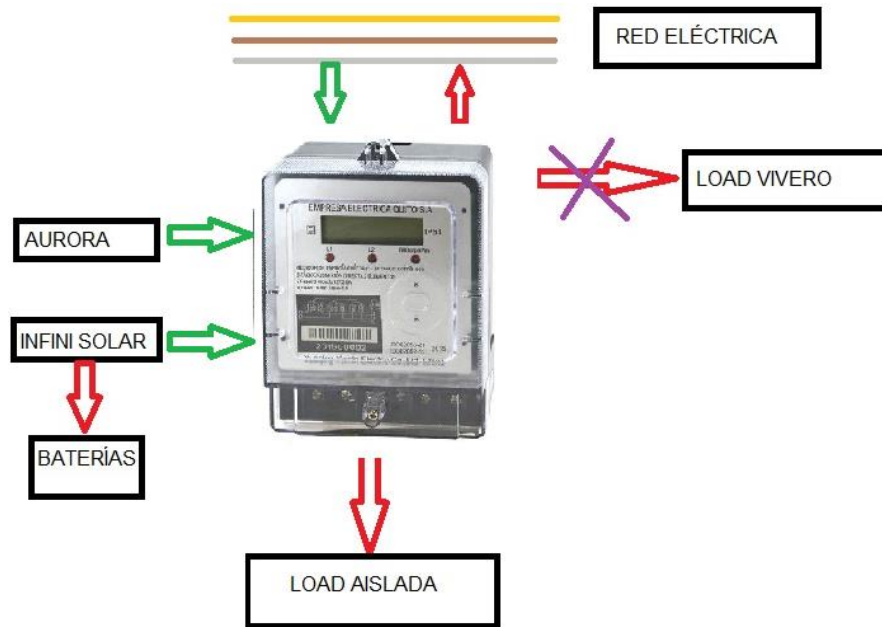


Figura 36. Diagrama medidor bidireccional

Del diagrama anterior podemos plantear una ecuación de diferencia de potencias tanto de las entradas como de las salidas:

$$Wh_{infini} + Wh_{aurora} + Wh_{D_{Paneles}} \neq Wh_{R_{rad-sol}} + Wh_{load} + W_{loss} \quad (2)$$

A continuación se analiza la energía generada de cada uno de los inversores presentes en el sistema fotovoltaico (INFINI SOLAR Y AURORA ABB):

En la figura 37 se analiza la energía generada en el periodo del 8 de septiembre de 2018 hasta el 28 de junio de 2019 por parte del inversor **AURORA ABB**.

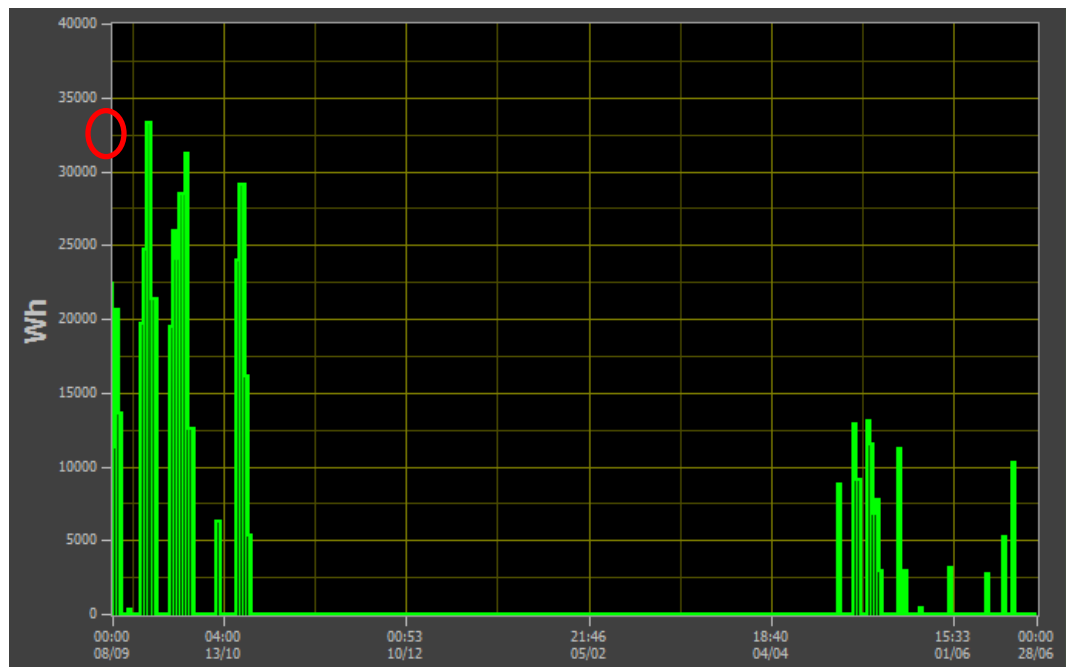


Figura 37. Energía generada inversor AURORA ABB.

Se observa un pico de energía generada de 3,3kW a mediados del mes de septiembre de 2018 por parte de este inversor.

Con la figura 38 se analiza la tensión de entrada 1 y 2 del inversor en el mes de junio de 2019:

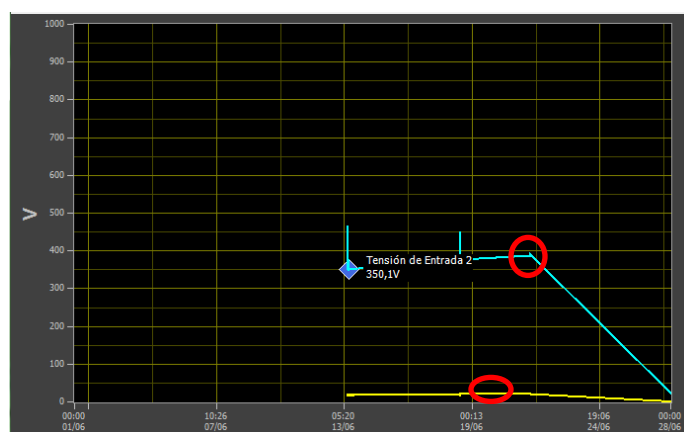


Figura 38. Tensión 1 y 2 inversor AURORA ABB.

Donde la línea amarilla es la tensión 1 (MPPT1) y en el mes de junio produjo un pico de tensión de 25 voltios; la línea azul es la tensión 2 (MPPT2) la cual produjo un pico de tensión de 350 voltios.

Para el inversor INFINI SOLAR se tiene lo siguiente:

En la figura 39 se analiza la energía generada por el inversor infini solar desde enero hasta el 28 de junio de 2019

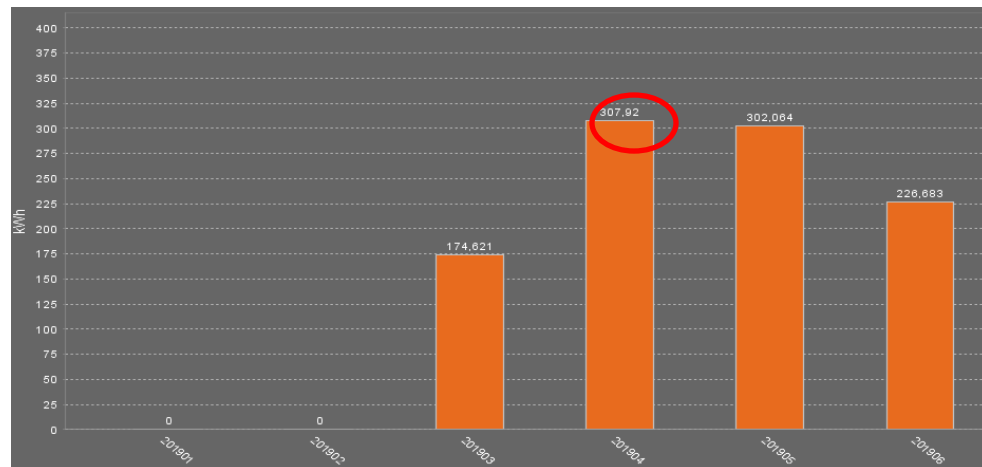


Figura 39. Energía generada por el inversor INFINI SOLAR.

Se observa que en los meses de enero y febrero el inversor no estuvo operando por cuestiones de mantenimiento y se observa que en el mes de abril fue donde más energía produjo con un total de 307,92 kWh.

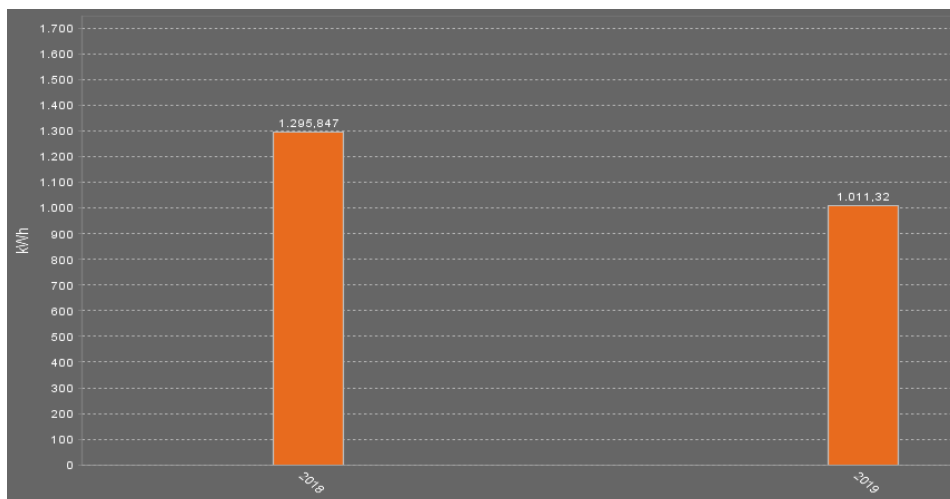


Figura 40. Comparación energía generada entre el año 2018 y 2019.

La anterior figura 40 muestra una comparación de la energía que generó el inversor INFINISOLAR el año pasado y lo que ha generado hasta el momento.

Actualmente la entrada MPPT1 del inversor INFINI SOLAR se encuentra desconectada, lo cual hace que el inversor solo trabaje con la entrada MPPT2.

Con la figura 41 podemos observar la tensión de esta entrada.

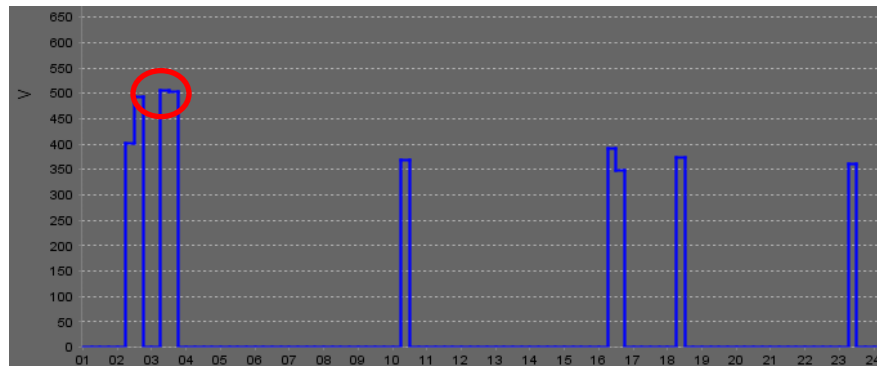


Figura 41. Tensión entrada MPPT2.

Se observa que la entrada alcanza un pico de 500 voltios.

En la figura 42 se logra observar un pico de potencia de 4,6 kW de la entrada MPPT2.

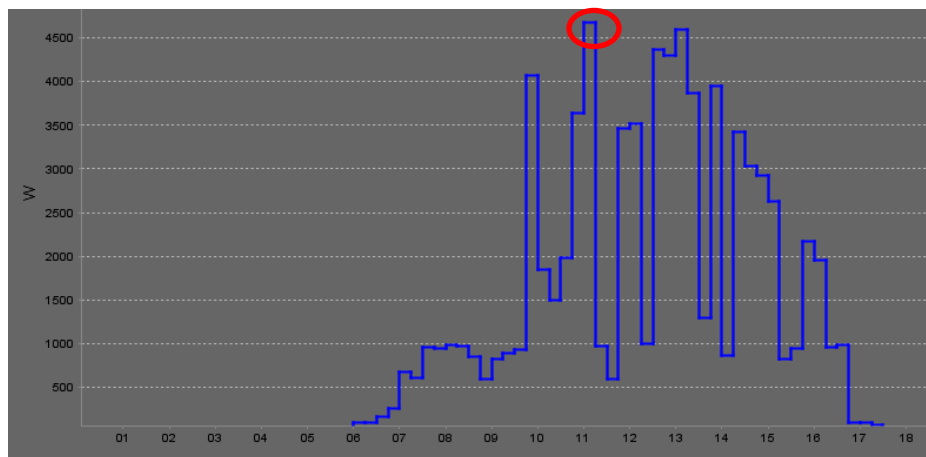


Figura 42. Potencia entrada MPPT2.

Se puede observar que la capacidad en la que se encuentran las baterías es del 100%, por lo cual se comprueba su excelente estado. Se puede observar en la siguiente figura 43.



Figura 43. Estado de las baterías.

4.3 Generación energía eléctrica primer semestre 2019.

En la tabla 4 se anexan los valores totales de producción de energía eléctrica en el periodo establecido por los inversores del sistema y de la radiación solar:

Tabla 4. Total energía por meses.

Meses	Aurora (Kwh)	Infini (kWh)	Radiación solar (kWh/m^2)	Radiación solar (kWh)
Enero	0,1	0	7,068988391	511,512
Febrero	0,1	0	3,51576838	254,401
Marzo	10	174,62	2,636705362	190,792
Abril	30,9	307,92	5,529104478	400,086
Mayo	46,6	302,064	4,842523494	350,405
Junio	22,1	226,683	3,181108347	230,185

La figura 44 muestra la potencia generada por los dos inversores además de la radiación solar producida multiplicada por el área de los paneles solares presentes en el sistema el cual es de 72,36 m²:

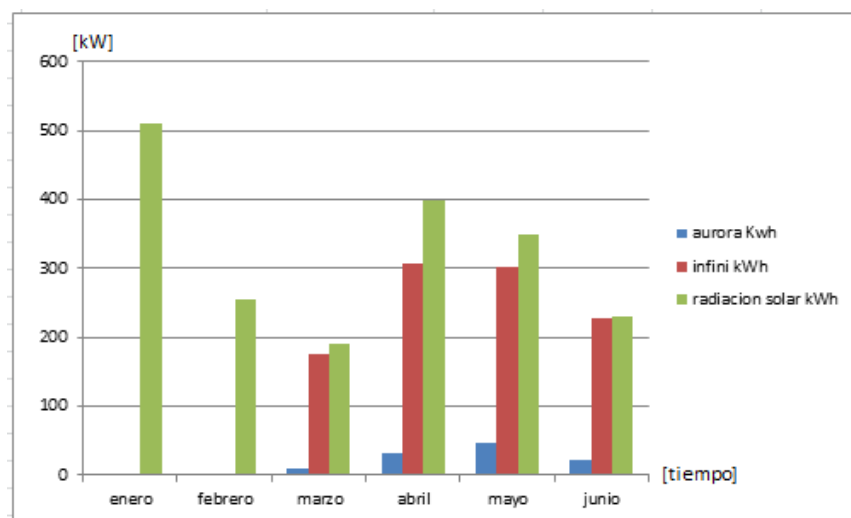


Figura 44. Potencia generada primer semestre 2019

En la tabla 5 se anexan los valores totales de producción de energía eléctrica en el periodo establecido por el inversor INFINI SOLAR y la radiación solar

Tabla 5.Total Energía (kWh)

Hora	Infini solar (kWh)	Radiación solar (kWh)	Radiación(kW/m ²)
6:00:00 a. m.	0,02	0	0
7:00:00 a. m.	0,07	0,093	0,00128524
8:00:00 a. m.	1,023	1,066	0,0147319
9:00:00 a. m.	1,66	1,7	0,02349364
10:00:00 a. m.	1,498	1,603	0,02215312
11:00:00 a. m.	1,8	1,991	0,0275152
12:00:00 p. m.	3	3,018	0,04170813
1:00:00 p. m.	2,9	2,944	0,04068546
2:00:00 p. m.	0,058	0,068	0,00093975
3:00:00 p. m.	0,326	0,502	0,00693753
4:00:00 p. m.	0,29	0	0
5:00:00 p. m.	0,26	0	0
6:00:00 p. m.	0,17	0	0

A continuación se realiza el análisis de potencia generada en un rango de 12 horas del inversor INFINI SOLAR con respecto a la radiación solar multiplicada por el área de los paneles solares que es de 72,36 m² presentada el día 10 de septiembre de 2018.

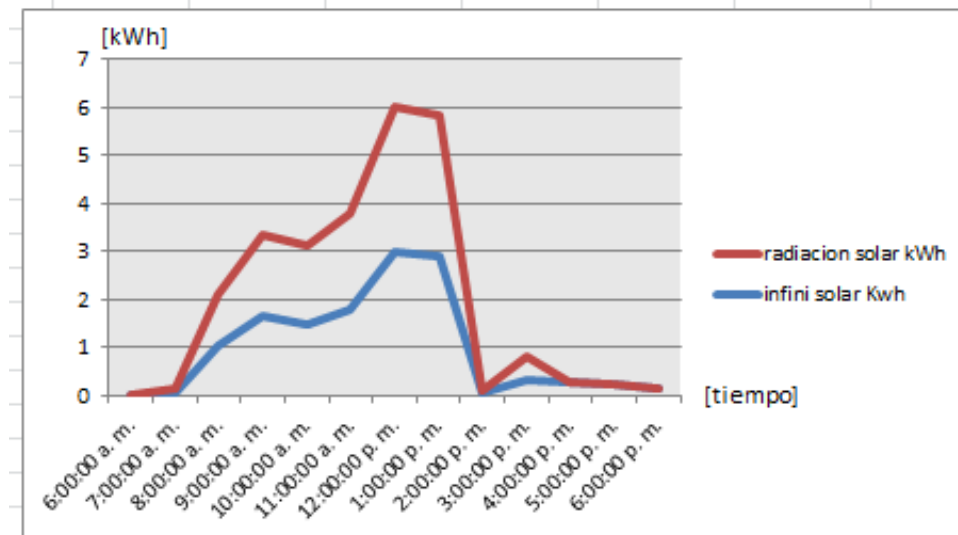


Figura 45. Curva de potencia radiación solar vs infini solar.

En la anterior figura 45 se eligió un día aleatorio en un mes en el cual se produjo demasiada radiación solar, produciendo un total de 12,98 kWh en el día; se puede observar que a medida que la radiación solar aumenta o disminuye la potencia en el inversor infini solar también realiza la misma acción.

Tomando como referencia el mismo día del ejemplo anterior se realiza el siguiente análisis de radiación solar cada 5 minutos, obteniendo así datos de eficiencia de radiación y energía eléctrica generada.

Para hallar energía (Wh) se utilizó la siguiente ecuación bajo la curva:

$$Wh = \frac{H1+H2}{2} * \Delta t \quad (3)$$

Donde los valores de H son obtenidos por la columna de radiación, y el valor de Δt es convertir los 5 minutos de cada intervalo a hora (5/60).

Para hallar la eficiencia de radiación se utilizó la siguiente ecuación

$$\eta = Wh * \eta_{paneles} \quad (4)$$

Donde la eficiencia de los paneles es del 16%.

Tabla 6. Radiación solar y eficiencia cada 5 minutos.

Hora	Radiación (Wh/m ²)	Wh	Eficiencia de radiación %
6:00 a. m.	0	0	0
6:05 a. m.	3	0,125	0,02
6:10 a. m.	7	0,41666667	0,06666667
6:15 a. m.	12	0,79166667	0,12666667
6:20 a. m.	14	1,08333333	0,17333333
6:25 a. m.	17	1,29166667	0,20666667
6:30 a. m.	20	1,54166667	0,24666667
6:35 a. m.	25	1,875	0,3
6:40 a. m.	36	2,54166667	0,40666667
6:45 a. m.	33	2,875	0,46
6:50 a. m.	42	3,125	0,5
6:55 a. m.	70	4,66666667	0,74666667
7:00 a. m.	96	6,91666667	1,10666667
7:05 a. m.	64	6,66666667	1,06666667
7:10 a. m.	78	5,91666667	0,94666667
7:15 a. m.	63	5,875	0,94
7:20 a. m.	59	5,08333333	0,81333333
7:25 a. m.	108	6,95833333	1,11333333
7:30 a. m.	104	8,83333333	1,41333333
7:35 a. m.	84	7,83333333	1,25333333
7:40 a. m.	128	8,83333333	1,41333333
7:45 a. m.	170	12,41666667	1,98666667
7:50 a. m.	151	13,375	2,14
7:55 a. m.	157	12,83333333	2,05333333
8:00 a. m.	131	12	1,92
8:05 a. m.	147	11,58333333	1,85333333
8:10 a. m.	166	13,04166667	2,08666667
8:15 a. m.	167	13,875	2,22
8:20 a. m.	134	12,54166667	2,00666667
8:25 a. m.	161	12,29166667	1,96666667
8:30 a. m.	230	16,29166667	2,60666667
8:35 a. m.	286	21,5	3,44
8:40 a. m.	380	27,75	4,44
8:45 a. m.	726	46,08333333	7,37333333
8:50 a. m.	721	60,29166667	9,64666667
8:55 a. m.	378	45,79166667	7,32666667
9:00 a. m.	701	44,95833333	7,19333333
9:05 a. m.	715	59	9,44
9:10 a. m.	752	61,125	9,78
9:15 a. m.	350	45,91666667	7,34666667
9:20 a. m.	244	24,75	3,96
9:25 a. m.	438	28,41666667	4,54666667

9:30 a. m.	269	29,4583333	4,71333333
9:35 a. m.	340	25,375	4,06
9:40 a. m.	525	36,0416667	5,76666667
9:45 a. m.	800	55,2083333	8,83333333
9:50 a. m.	689	62,0416667	9,92666667
9:55 a. m.	418	46,125	7,38
10:00 a. m.	400	34,0833333	5,45333333
10:05 a. m.	409	33,7083333	5,39333333
10:10 a. m.	383	33	5,28
10:15 a. m.	276	27,4583333	4,39333333
10:20 a. m.	293	23,7083333	3,79333333
10:25 a. m.	342	26,4583333	4,23333333
10:30 a. m.	418	31,6666667	5,06666667
10:35 a. m.	517	38,9583333	6,23333333
10:40 a. m.	865	57,5833333	9,21333333
10:45 a. m.	472	55,7083333	8,91333333
10:50 a. m.	521	41,375	6,62
10:55 a. m.	1315	76,5	12,24
11:00 a. m.	489	75,1666667	12,0266667
11:05 a. m.	1001	62,0833333	9,93333333
11:10 a. m.	679	70	11,2
11:15 a. m.	1009	70,3333333	11,2533333
11:20 a. m.	1154	90,125	14,42
11:25 a. m.	1070	92,6666667	14,8266667
11:30 a. m.	966	84,8333333	13,5733333
11:35 a. m.	825	74,625	11,94
11:40 a. m.	977	75,0833333	12,0133333
11:45 a. m.	803	74,1666667	11,8666667
11:50 a. m.	995	74,9166667	11,9866667
11:55 a. m.	972	81,9583333	13,1133333
12:00 p. m.	921	78,875	12,62
12:05 p. m.	409	55,4166667	8,86666667
12:10 p. m.	300	29,5416667	4,72666667
12:15 p. m.	374	28,0833333	4,49333333
12:20 p. m.	426	33,3333333	5,33333333
12:25 p. m.	867	53,875	8,62
12:30 p. m.	1002	77,875	12,46
12:35 p. m.	1055	85,7083333	13,7133333
12:40 p. m.	1013	86,1666667	13,7866667
12:45 p. m.	1035	85,3333333	13,6533333
12:50 p. m.	1017	85,5	13,68
12:55 p. m.	1011	84,5	13,52
1:00 p. m.	1001	83,8333333	13,4133333
1:05 p. m.	1008	83,7083333	13,3933333
1:10 p. m.	982	82,9166667	13,2666667

1:15 p. m.	1014	83,1666667	13,3066667
1:20 p. m.	1034	85,3333333	13,6533333
1:25 p. m.	1039	86,375	13,82
1:30 p. m.	1054	87,2083333	13,9533333
1:35 p. m.	457	62,9583333	10,0733333
1:40 p. m.	457	38,0833333	6,0933333
1:45 p. m.	334	32,9583333	5,2733333
1:50 p. m.	305	26,625	4,26
1:55 p. m.	307	25,5	4,08
2:00 p. m.	251	23,25	3,72
2:05 p. m.	197	18,6666667	2,9866667
2:10 p. m.	196	16,375	2,62
2:15 p. m.	209	16,875	2,7
2:20 p. m.	213	17,5833333	2,8133333
2:25 p. m.	215	17,8333333	2,8533333
2:30 p. m.	227	18,4166667	2,9466667
2:35 p. m.	214	18,375	2,94
2:40 p. m.	206	17,5	2,8
2:45 p. m.	162	15,3333333	2,4533333
2:50 p. m.	134	12,3333333	1,9733333
2:55 p. m.	153	11,9583333	1,9133333
3:00 p. m.	242	16,4583333	2,6333333
3:05 p. m.	309	22,9583333	3,6733333
3:10 p. m.	351	27,5	4,4
3:15 p. m.	784	47,2916667	7,5666667
3:20 p. m.	336	46,6666667	7,4666667
3:25 p. m.	176	21,3333333	3,4133333
3:30 p. m.	175	14,625	2,34
3:35 p. m.	214	16,2083333	2,5933333
3:40 p. m.	195	17,0416667	2,7266667
3:45 p. m.	172	15,2916667	2,4466667
3:50 p. m.	166	14,0833333	2,2533333
3:55 p. m.	159	13,5416667	2,1666667
4:00 p. m.	136	12,2916667	1,9666667
4:05 p. m.	105	10,0416667	1,6066667
4:10 p. m.	85	7,9166667	1,2666667
4:15 p. m.	81	6,9166667	1,1066667
4:20 p. m.	88	7,0416667	1,1266667
4:25 p. m.	98	7,75	1,24
4:30 p. m.	111	8,7083333	1,3933333
4:35 p. m.	112	9,2916667	1,4866667
4:40 p. m.	105	9,0416667	1,4466667
4:45 p. m.	88	8,0416667	1,2866667
4:50 p. m.	68	6,5	1,04
4:55 p. m.	60	5,3333333	0,8533333

5:00 p. m.	58	4,91666667	0,78666667
5:05 p. m.	59	4,875	0,78
5:10 p. m.	65	5,16666667	0,82666667
5:15 p. m.	70	5,625	0,9
5:20 p. m.	71	5,875	0,94
5:25 p. m.	72	5,95833333	0,95333333
5:30 p. m.	62	5,58333333	0,89333333
5:35 p. m.	50	4,66666667	0,74666667
5:40 p. m.	41	3,79166667	0,60666667
5:45 p. m.	34	3,125	0,5
5:50 p. m.	27	2,54166667	0,40666667
5:55 p. m.	16	1,79166667	0,28666667
6:00 p. m.	8	1	0,16
		Σ 4533,667	

De la tabla anterior se obtiene que durante el intervalo de 12 horas del día 10 de septiembre de 2018 se obtuviera un total de energía eléctrica de 4533,667 Wh.

Tomando como referencia la tabla 6 anterior se obtuvo la siguiente grafica de energía vs tiempo:

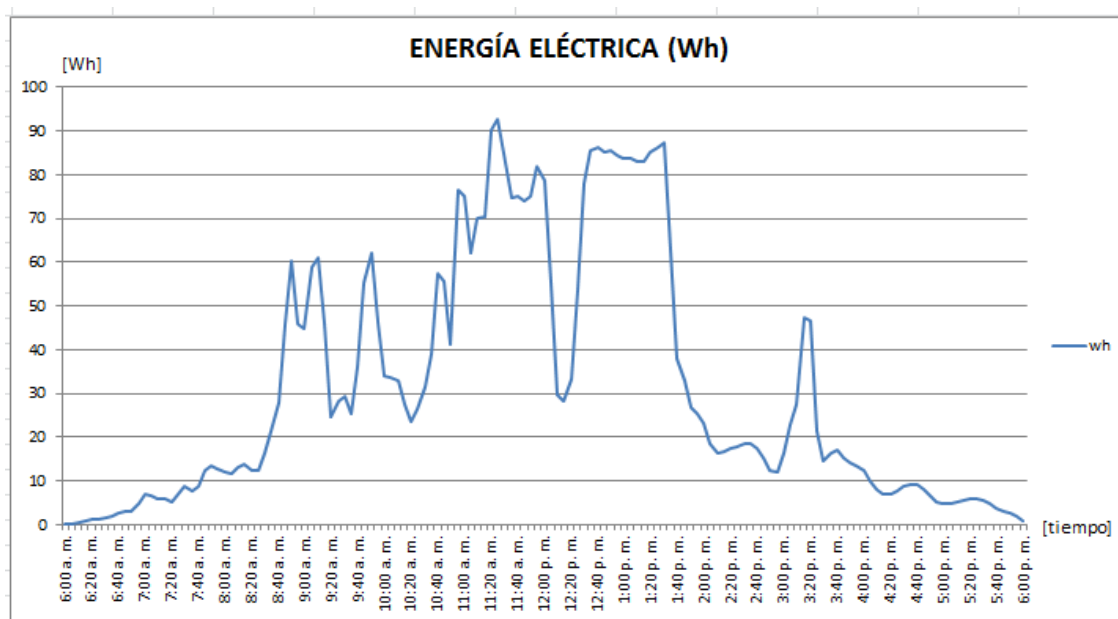


Figura 46. Energía vs tiempo

La anterior grafica se tomó con intervalos de tiempo de 20 minutos debido que la gráfica ya quedaba demasiado extensa para agregarse a este documento con intervalos de 5 minutos; el comportamiento de la gráfica es el mismo.

CONCLUSIONES

- La energía fotovoltaica es una gran opción como alternativa a las energías tradicionales, ya que no genera daños al medio ambiente y genera menos gastos en dinero y fluido eléctrico.
- Monitorear de manera remota las variables del sistema fotovoltaico nos da un plus adicional al estar pendiente de lo que sucede en nuestro sistema solar sin importar la distancia en la que nos encontremos, ahorrándonos tiempo en movilizarnos y solucionar todo con un solo click.
- El sistema fotovoltaico cuando se encuentra conectado a la red eléctrica presenta un efecto considerable en la frecuencia, lo cual produce una leve variación en la potencia que está generando, cuando el sistema presenta un incremento en la potencia llega a producir una variación en la frecuencia en un rango de tiempo muy corto, provocando que el inversor accione una alarma de advertencia hasta que se estabiliza el sistema.
- El análisis efectuado se convierte en un proyecto piloto en el cual si se desea implementar que toda la universidad se abastezca de energía renovable resulta necesario instalar sistemas fotovoltaicos de mayor generación de energía eléctrica; ya que la demanda que se presenta es mayor a la generada y por lo cual no se puede establecer un buen balance energético.

ANEXOS

A continuación se agregan los anexos correspondientes a los arreglos de paneles de los dos inversores del sistema fotovoltaico y el diagrama unifilar de las conexiones; donde actualmente la carga controlada en el inversor INFINI SOLAR se encuentra desconectada.

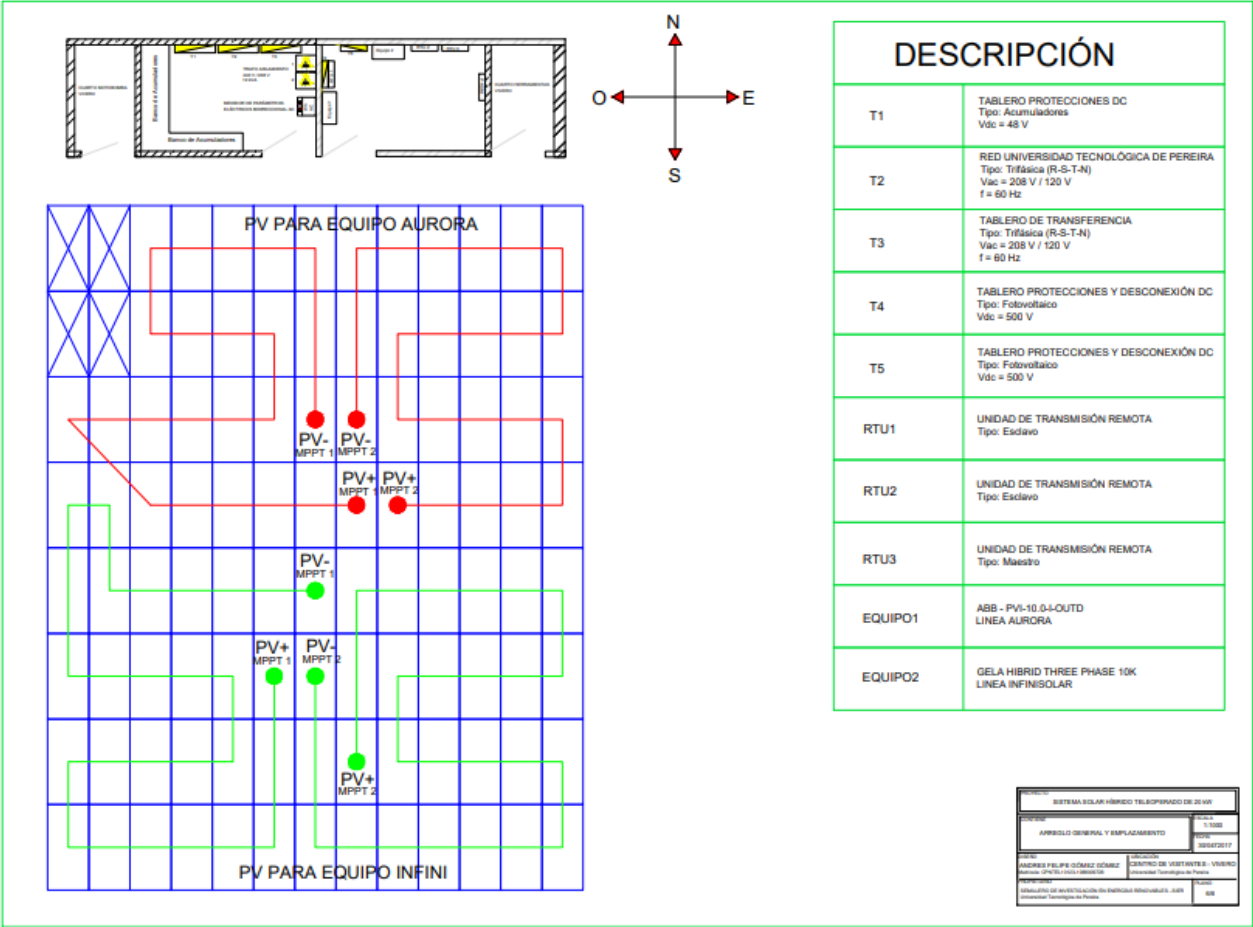


Figura 47. Bosquejo arreglo de paneles solares.

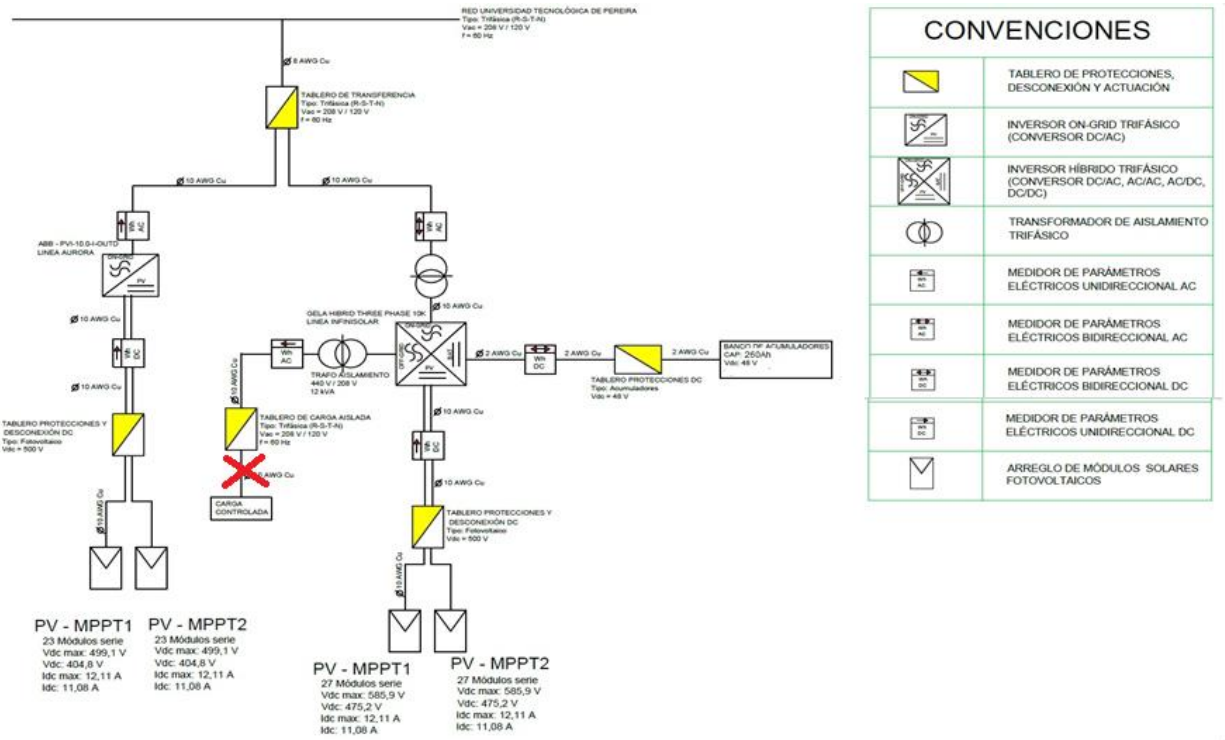


Figura 48 Diagrama unifilar VIVERO-UTP.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Acciona business as unusual. Energías renovables (online), marzo de 2019
<https://www.acciona.com/es/energias-renovables>.
- [2] R. Kenny, G. Friesen, D. Chianese, A. Bernasconi, and E. Dunlop, "Energy rating of PV modules: comparison of methods and approach," in Proceedings of the 3rd PV World Conference, Osaka, 2003.
- [3] CARDOZO PÉREZ, Diana Victoria. Desarrollo e implementación de un sistema energético renovable para la Fundación Kyrios. [ingeniería eléctrica] Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.
- [4] SILVA SARASTY, Juan Pablo. Aplicativo para diseño de sistemas fotovoltaicos: programación y validación con software comercial. [ingeniería eléctrica] Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [5] La guía solar. ¿Qué es una instalación fotovoltaica on-grid? (online), mayo de 2019
<http://www.laguiasolar.com/que-es-una-instalacion-fotovoltaica-on-grid/>.
- [6] La guía solar. ¿Qué es una instalación fotovoltaica off-grid? (online), mayo de 2019
<http://www.laguiasolar.com/off-grid-o-instalacion-fotovoltaica-aislada/>.
- [7] Energías inteligentes. Sistemas híbridos (online), mayo de 2019
<http://www.energiasinteligentes.com/noticias/9/sistemas-hibridos-principio-de-funcionamiento-y-preguntas-frecuentes>.
- [8] Teknosolar. ¿Qué es y cómo funciona un inversor solar?, (online), mayo de 2019
<https://www.teknosolar.com/community/index.php?p=/discussion/14/que-es-y-como-funciona-un-inversor-solar>
- [9] Solar-energía. Panel fotovoltaico, (online), mayo de 2019
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico>
- [10] Luxor technologies. ¿Qué es el monitoreo remoto?, (online), mayo de 2019
<http://www.luxortec.com/preguntas-frecuentes/monitoreo-remoto/>.

[11] Erenovable. ¿Qué es un acumulador eléctrico?, (online), mayo de 2019
<https://erenovable.com/que-es-un-acumulador-electrico-y-para-que-sirve/>.

[12] Autosolar. Inversor híbrido trifásico 10kW infinisolar, (online), junio de 2019
<https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-hibrido-trifasico-10kva-infinisolar>.

[13] SOLAR, G, (2008), power on manual de uso traducido a español (1ª ed).
[Archivo en pdf]. Recuperado de
http://www.germansolar.de/files/PowerOne_span/manual10es.pdf

[14] Green-energy latín américa. Sistemas solares híbridos, (online), junio de 2019
<https://www.greenenergy-latinamerica.com/inversores-hibridos/>.